

VULNERABILIDADES DAS ACESSIBILIDADES HOSPITALARES FACE AO RISCO SÍSMICO

Acessibilidades ao Centro Hospitalar de Lisboa
Central

Pedro Marcos Santana Rodrigues

Provas destinadas à obtenção do grau de Mestre em Riscos e Protecção Civil



INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS
Dezembro de 2012

INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS

Escola Superior de Segurança, Tecnologia e Aviação

Provas no âmbito do Mestrado em Riscos e Protecção Civil

**VULNERABILIDADES DAS ACESSIBILIDADES HOSPITALARES
FACE AO RISCO SÍSMICO**

Acessibilidades ao Centro Hospitalar de Lisboa Central

Autor: **Pedro Marcos Santana Rodrigues**

Orientador: **Mestre Henrique Manuel Carvalho Vicêncio**

Dezembro de 2012

Agradecimentos

À minha mulher, sempre me deu o seu apoio e compreensão inestimáveis, pelos diversos sacrifícios suportados e pelo constante encorajamento a fim de prosseguir a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, sem o seu encorajamento e apoio económico não teria sido possível chegar ao fim desta jornada.

Ao Mestre Henrique Manuel Carvalho Vicêncio, pela disponibilidade manifestada para orientar este trabalho, pela preciosa ajuda na definição do objecto de estudo, pela exigência de método e rigor, pela incansável orientação científica, pela revisão crítica do texto, pelos profícuos comentários, esclarecimentos, opiniões e sugestões, pela cedência e indicação de alguma bibliografia relevante para a temática em análise, pelos oportunos conselhos, pela acessibilidade, cordialidade e simpatia demonstrados, pela confiança que sempre me concedeu e pelo permanente estímulo que, por vezes, se tornaram decisivos em determinados momentos da elaboração desta tese, pelo interesse evidenciado, incluindo o benéfico acompanhamento ao longo deste percurso académico.

E por fim e não menos importante, aos colegas de curso que me apoiaram e ajudaram ao longo desta caminhada, nomeadamente ao Elmano Silva e ao Sérgio Morais.

Resumo

A região de Lisboa tem vindo a sofrer ao longo da sua história impactos elevados decorrentes de sismos próximos e distantes, dos quais são exemplos os sismos de 1356 e de 1775. A vulnerabilidade das vias de acesso a hospitais situados no concelho de Lisboa face à ocorrência de um sismo é um tema que não tem sido abordado mas que é importante para estimar as áreas da rede viária ocupadas por escombros provenientes do colapso de edifícios após um sismo e o posterior estabelecimento de medidas de mitigação e de preparação para a resposta. Este trabalho tem como objectivo avaliar as vulnerabilidades das acessibilidades aos hospitais de São José, Santa Marta, Capuchos e Estefânia. Foram escolhidos estes hospitais por serem geograficamente próximos, por pertencerem ao mesmo núcleo hospitalar, Núcleo Hospitalar de Lisboa Central, e por se localizarem em zonas que poderão sofrer danos significativos em caso de um evento sísmico. As freguesias da Pena e de St.º Estevão, onde se localiza este núcleo hospitalar, são caracterizadas por possuírem um edificado pré-pombalino e gaioleiro, pelo que os impactos estruturais face a um sismo poderão ser elevados. Para avaliar a vulnerabilidade das acessibilidades seguiram-se metodologias utilizadas internacionalmente e foi utilizado o método RADIUS, pois é um método que necessita de poucos recursos e é facilmente adaptável às características de cada país. Factores como a densidade de construção, tipo de colapso, características do edificado e distância relativa entre os edifícios e as vias foram considerados nas estimativas de níveis de ocupação longitudinal e lateral das vias e da severidade da sua ocupação.

Verificou-se que no cenário de um sismo de características destruidoras a zona em estudo ficará com muito mais de metade da sua rede viária ocupada por escombros, o que levanta grandes questões acerca de como se processará o socorro às vítimas, de como circularão os veículos que prestarão esse socorro e sobretudo de como se fará a desocupação destas vias.

Com base nestes resultados identificaram-se vulnerabilidades na rede viária de acesso aos hospitais, propuseram-se medidas mitigadoras e indicaram-se as rotas de acesso aos hospitais que terão menores ocupações de escombros em caso de evento sísmico.

Palavras-chave: Acessibilidades hospitalares; Risco sísmico; Ocupação; Lisboa; Escombros; Vias de acesso

Abstract

The Lisbon region has suffered throughout its history high impacts from near and far earthquakes, which main examples are the earthquakes of 1356 and 1775. The vulnerability of access routes to hospitals located in the municipality of Lisbon against the occurrence of an earthquake is a topic that had not been addressed so far but is of major importance to estimate the areas of roads occupied by debris from the collapse of buildings after an earthquake and the subsequent establishment of mitigation and response preparedness. This study aims to assess the vulnerabilities of accessibility to hospitals São José, Santa Marta, Capuchos and Estefania. These hospitals were chosen because they are geographically located near each other, because they belong to the same core hospital, Central Lisbon Hospital Center, and are located in areas that would suffer significant damage in case of a seismic event. The civil parishes of Pena and St.º Estevão, where this core hospital is located, are characterized by having pré-pombalino and gaioleiro type buildings; for this reason the structural impacts of an earthquake may be high. To assess the vulnerability of accessibility, international methodologies were followed and the RADIUS method was used because it is a method that requires few resources and is easily adaptable to the characteristics of each country. Factors such as construction density, type of collapse, characteristics of the building, and the relative distance between buildings and roads were considered in the estimated levels of longitudinal and lateral road occupancy and in the severity of its occupation.

In a severe post-earthquake scenario the study area will have more than half of its road network occupied by debris. This raises big questions about how to process the helping of victims, how the emergency vehicles will circulate and especially how to make the clearance of the roads.

Based on these results, vulnerabilities in the road network access to hospitals were identified, mitigation measures were proposed and access routes to hospitals that have lower occupation of debris in case of seismic event were identified.

Keywords: Hospital accessibility; Seismic risk; Occupation; Lisbon; Debris; Access routes

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract.....	ix
Índice	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de equações.....	xv
Índice de tabelas	xvii
Siglas e abreviaturas	xix
Definições	xxi
1 Introdução.....	1
1.1 O que é um sismo.....	2
1.2 Principais impactos de um sismo	4
1.3 Zonas de risco em Lisboa, definição e caracterização da área de estudo	7
2 Enquadramento teórico.....	13
2.1.1 O método desenvolvido pela JICA.....	13
2.1.2 O método desenvolvido pela RADIUS	13
2.1.3 O método desenvolvido pela HAZUS	15
3 Metodologia utilizada.....	17
3.1 Determinação das unidades homogéneas, estimativa de colapsos e caracterização dos edifícios	17
3.1.1 Definição de áreas homogéneas	18
3.1.2 Levantamento do número de edifícios existentes por unidade homogénea e sua caracterização	18
3.2 Definição da área de estudo	18
3.3 Método de estudo.....	20
3.3.1 Cálculo da ocupação longitudinal	20

3.3.2	Cálculo da ocupação lateral.....	24
3.3.3	Ocupação total	29
4	Resultados.....	31
4.1	Ocupação lateral.....	31
4.2	Ocupação Longitudinal.....	33
4.2.1	Cenário 1 - 5% de colapso de edifícios.	34
4.2.2	Cenário 2 – 10% de colapso de edifícios.....	34
4.2.3	Cenário 3 - 15% de colapso de edifícios	35
4.3	Severidade da ocupação das vias	39
4.3.1	Cenário 1 - 5% de colapso de edifícios.	39
4.3.2	Cenário 2 – 10% de colapso de edifícios.....	39
4.3.3	Cenário 3 - 15% de colapso de edifícios	40
4.4	Discussão de resultados	45
4.4.1	Volume de escombros	46
5	Considerações finais.....	51
5.1	Limitações do estudo	51
5.2	Perspectivas futuras	52
6	Conclusões.....	53
7	Referências bibliográficas	55

Índice de figuras

Figura 1.1: Registo de sismos no último milénio (Câmara Municipal de Lisboa - Departamento de Protecção Civil).....	1
Figura 1.2: Falha normal	2
Figura 1.3: Diferentes tipos de falhas.....	2
Figura 1.4: Corte da Terra	3
Figura 1.5: Placas tectónicas	3
Figura 1.6: Freguesias de Lisboa.....	6
Figura 1.7: Percentagem de colapso de edifícios de habitação devido à acção sísmica semelhante à do terramoto de 1755 (Campos Costa, Sousa, Carvalho, & Coelho, 2010) 7	
Figura 1.8: Área de estudo.....	8
Figura 2.1: Diagrama esquemático da metodologia RADIUS (Tung, 2004).....	15
Figura 2.2: Curvas de fragilidade para diversos estados de dano para vias urbanas (National Institute of Building Sciences (NIBS), 1999)	16
Figura 3.1: Área de estudo e definição das unidades homogéneas	19
Figura 3.2: Percentagem de colapsos por freguesia (Lopes, 2008).....	21
Figura 3.3: Densidade de colapso linear (Tung, 2004)	23
Figura 3.4: Estimativa da largura da pilha de detritos (Tung, 2004).....	24
Figura 3.5: Edifício de alvenaria colapsado (Arménia, 1988) (Tung, 2004).....	25
Figura 3.6: Edifício de betão armado colapsado (Tajisquistão, 1985) (Tung, 2004).....	25
Figura 3.7: Edifícios ao longo da via (Tung, 2004)	26
Figura 3.8: Edifício com consolas entra em colapso (Tung, 2004).....	26
Figura 3.9: Comparação entre largura da via e distância entre edifícios (Tung, 2004)..	27
Figura 3.10: Distância entre edifícios opostos ao longo do comprimento da via (Tung, 2004).....	27
Figura 3.11: Metodologia usada para calcular o nível de ocupação da via (Tung, 2004)	29

Figura 4.1: Ocupação lateral ao longo das vias	32
Figura 4.2: Ocupação lateral por comprimento de via	33
Figura 4.3: Ocupação lateral por percentagem de comprimento de via	33
Figura 4.4: Ocupação longitudinal por percentagem de comprimento de via (5% de colapso de edifícios)	34
Figura 4.5: Ocupação longitudinal por percentagem de comprimento de via (10% de colapso de edifícios)	34
Figura 4.6: Ocupação longitudinal por percentagem de comprimento de via (15% de colapso de edifícios)	35
Figura 4.7: Gráfico resumo da ocupação longitudinal por comprimento de via, para os três cenários considerados	35
Figura 4.8: Ocupação longitudinal das vias (colapso de 5% dos edifícios)	37
Figura 4.9: Ocupação longitudinal das vias (colapso de 10% dos edifícios)	37
Figura 4.10: Ocupação longitudinal das vias (colapso de 15% dos edifícios)	37
Figura 4.11: Ocupação total por percentagem de comprimento de via (5% de colapso de edifícios)	39
Figura 4.12: Ocupação total por percentagem de comprimento de via (10% de colapso de edifícios)	40
Figura 4.13: Ocupação total por percentagem de comprimento de via (15% de colapso de edifícios)	41
Figura 4.14: Gráfico resumo da ocupação total por comprimento de via para os três cenários considerados	41
Figura 4.15: Severidade da ocupação das vias (colapso de 5% dos edifícios)	43
Figura 4.16: Severidade da ocupação das vias (colapso de 10% dos edifícios)	43
Figura 4.17: Severidade da ocupação das vias (colapso de 15% dos edifícios)	43
Figura 4.18: Trajectos mais indicados de acesso aos hospitais em evento de sismo	50

Índice de equações

Equação 3.1: A_c - Área ocupada pelos edifícios colapsados	22
Equação 3.2: P_A - Densidade de colapso por área	22
Equação 3.3: P_L – Densidade de colapso linear.....	22
Equação 3.4: H_E – Altura média dos edifícios na Unidade Homogénea	24
Equação 3.5: W_D – Largura da pilha de detritos	25
Equação 3.6: W_{FD} – Largura final da pilha de detritos.....	28
Equação 3.7: D_{occ} – Relação entre a largura final da pilha de detritos e a largura usável da via	28

Índice de tabelas

Tabela 1.1: Relação entre tempo de evacuação e taxa de sobrevivência (Wang, Li, Chao, & Yang, 2009)	4
Tabela 3.1: Ocupação longitudinal dos detritos (Tung, 2004)	23
Tabela 3.2: Ocupação lateral da via por detritos (Tung, 2004)	29
Tabela 3.3: Severidade da ocupação total das vias.....	30
Tabela 4.1: Volume esperado de escombros no trajecto Jardim Constantino – Campo Mártires da Pátria.....	47
Tabela 4.2: Volume esperado de escombros no trajecto Campo Mártires da Pátria – Hospital dos Capuchos	48
Tabela 4.3: Volume esperado de escombros no trajecto Hospital dos Capuchos – Hospital de Sta. Marta	48

Siglas e abreviaturas

USGS – United States Geological Survey

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

AML – Área Metropolitana de Lisboa

PEERS-AML-CL – Plano Especial de Emergência para o Risco Sísmico na Área Metropolitana de Lisboa e Concelhos Limítrofes

JICA – Japan International Cooperation Agency

RADIUS - Risk Assessment tools for Diagnosis of Urban areas against Seismic disasters

HAZUS – Hazards United States

FEMA – Federal Emergency Management Agency

UNISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction

UN - United Nations

IP – Itinerário Principal

IC – Itinerário Complementar

EN – Estrada Nacional

ER – Estrada Regional

IDNDR - International Decade for Natural Disaster Reduction

IMM – Intensidade de Mercalli Modificada

APS – Aceleração de Pico do Solo

IST – Instituto Superior Técnico

Definições

Aceleração de pico de solo – Valor máximo absoluto de uma série temporal representativa da aceleração do solo (Oliveira, Roca, & Goula, 2006, p. 62).

Avaliação de Risco – Metodologia para determinar a natureza e extensão do risco, analisando os riscos potenciais e avaliando as condições existentes de vulnerabilidade, que juntos podem prejudicar pessoas, bens, serviços e meios de subsistência expostos, uma vez que dependem do ambiente (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Capacidade – A combinação de todos os pontos fortes, atributos e recursos disponíveis dentro de uma comunidade, sociedade ou organização que podem ser utilizados para alcançar os objectivos acordados (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Código de construção – Conjunto de decretos ou regulamentos relativos a normas que visam o controlo de aspectos de concepção, construção, materiais, modificações e ocupação de qualquer estrutura, que são necessários para garantir a segurança e o bem-estar dos seres humanos, incluindo resistência a deslizamentos de terra e danos (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Catástrofe – Uma interrupção grave do funcionamento de uma comunidade ou sociedade que causa muitas mortes, bem como perdas materiais, impactos económicos e ambientais, que excedem a capacidade da comunidade afectada ou a sociedade para lidar com a situação, mediante o uso dos seus próprios recursos (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Exposição – A população, as propriedades, os sistemas ou outros elementos presentes nas zonas onde existam ameaças e por conseguinte potencialmente expostas a perdas. (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012)

Gestão de Emergência – A organização e gestão dos recursos e responsabilidades para abordar todos os aspectos de emergências, em particular, preparação, resposta e recuperação, e passos iniciais da reabilitação (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Liquefacção – Redução da resistência ao corte e/ou da rigidez, devida ao aumento da pressão na água dos poros em solos incoerentes saturados durante a ocorrência de

movimentos sísmicos do terreno, que origine deformações permanentes significativas ou, mesmo, uma quase anulação da tensão efectiva no solo (Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2010) .

Mitigação – A redução ou limitação dos impactos adversos de perigos e catástrofes relacionadas (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Preparação – O conhecimento e capacidades desenvolvidas pelos governos, organizações profissionais de resposta e recuperação, comunidades e indivíduos para antecipar, responder e recuperar eficazmente de impactos de eventos ou condições prováveis, iminentes ou actuais de risco (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012)

Prevenção – A prevenção imediata de impactos adversos de perigos e catástrofes relacionadas (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Reforço – O reforço ou a modernização das estruturas existentes para alcançar uma maior força e resistência aos efeitos nocivos de perigos (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Resiliência – A capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade expostos a riscos de resistir, absorver, adaptar e recuperar dos efeitos de forma atempada e eficaz, incluindo a preservação e restauração de estruturas e funções básicas (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Resposta – A prestação de serviços de emergência e assistência pública durante ou imediatamente após uma catástrofe, com o fim de salvar vidas, reduzir os impactos na saúde, garantir a segurança do público e satisfazer as necessidades básicas de subsistência na população afectada (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Risco – A combinação da probabilidade de que se produza um evento e das suas consequências negativas (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Serviços de emergência – O conjunto de organismos especializados com responsabilidade e objectivos específicos de protecção de pessoas e bens em situações

de emergência (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

Vulnerabilidade – Características e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou bem que as tornam susceptíveis aos efeitos nocivos de um risco (United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2012).

1 Introdução

Este trabalho tem como objectivo avaliar a vulnerabilidade das acessibilidades aos hospitais de São José, Santa Marta, Capuchos e Estefânia face ao risco sísmico na região da grande Lisboa.

A região de Lisboa está sujeita a impactos decorrentes de sismos que podem ter origem (Sousa, Martins, & Oliveira, 1992) no Vale Inferior do Tejo, fonte próxima, responsável pelos sismos de 1344, 1531 e 1909; e no Banco de Gorringe, fonte afastada, geradora dos sismos de 1356, 1755 e 1969.



Figura 1.1: Registo de sismos no último milénio (Câmara Municipal de Lisboa - Departamento de Protecção Civil)

Por essa razão têm vindo a ser desenvolvidos há vários anos estudos acerca de potenciais efeitos de um sismo na cidade de Lisboa.

Estes estudos possibilitaram a criação de simuladores de danos sísmicos, estudos em áreas tão diversificadas como Estratégias de Mitigação (Campos Costa, Sousa, Carvalho, & Coelho, 2010), Vulnerabilidade Sísmica (Cardoso, Lopes, & Bento, 2003) e cenários de sismos (Carvalho, Zonno, Franceschina, Serra, & Costa, 2008). No entanto não terá sido ainda realizada nenhuma investigação que se debruce acerca da problemática da vulnerabilidade das acessibilidades rodoviárias aos hospitais do concelho de Lisboa.

Tendo em conta que o número espektado de vítimas, face a um sismo de características destruidoras, será de 17 a 27 mil mortos e muitos milhares de feridos (George, 2011) e (Lopes, 2008), decidiu-se, pela importância que as estruturas de cuidados hospitalares

têm na fase de reposta, encontrar quais as vulnerabilidades nos acessos aos hospitais da região metropolitana de Lisboa.

Optou-se então por estudar o impacto de um sismo em zonas identificadas como muito afectadas pelo simulador do LNEC (Campos Costa, Sousa, Carvalho, & Coelho, 2010), tais como, as zonas envolventes ao Hospital S. José, ao Campo de Santana, ao Paço da Rainha. Dada a proximidade de outros hospitais públicos de relevância incluíram-se também neste estudo as envolventes aos hospitais dos Capuchos, de Sta. Marta e de Dona Estefânia, Figura 1.8.

1.1 O que é um sismo

Segundo (Wald, 2012) gera-se um sismo quando dois blocos de crosta subitamente, deslizam entre si. A superfície de deslizamento é chamada falha ou plano de falha. A localização abaixo da superfície, onde começa o sismo é chamada hipocentro e o local directamente por cima da superfície da terra é chamado de epicentro (Figura 1.2).

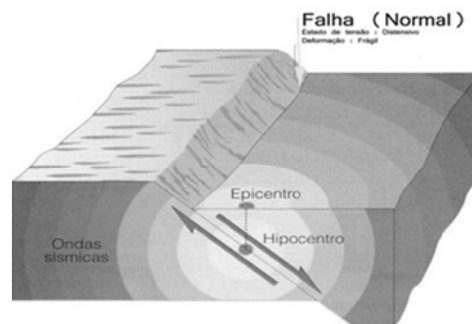


Figura 1.2: Falha normal

(disponível em <http://snirh.pt/junior/index.php?menu=2.4&item=5&subitem=1>)

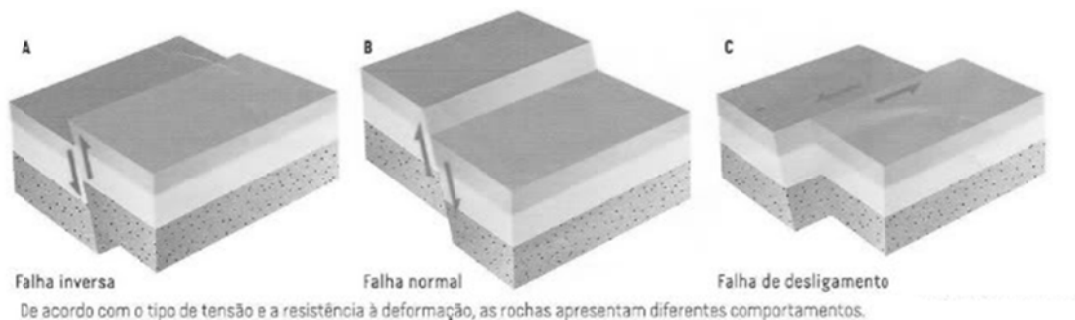


Figura 1.3: Diferentes tipos de falhas

(disponível em <http://ritaduarte22.blogspot.pt/2010/12/dobras-e-falhas.html>)

Por vezes, antes do abalo principal observam-se sismos de fraca intensidade denominados abalos premonitórios. Estes são sismos menores que têm origem na

Diagrama da estrutura interna da Terra, mostrando as camadas e suas profundidades (em quilômetros):

- 0 km:** Superfície da Terra.
- 0 - 400 km:** Crusta e litosfera.
- 400 - 650 km:** Manto superior.
- 650 - 2.700 km:** Região de transição (fonte de magmas basálticos).
- 2.700 - 2.890 km:** Camada D''.
- 2.890 - 5.150 km:** Manto inferior.
- 5.150 - 6.378 km:** Núcleo externo (fundido).
- 6.378 km:** Núcleo interno (sólido).

Outros rótulos no diagrama incluem: Zona de subducção, Crista médio-oceânica e Manto superior.

(disponível em http://www.msad49.org/ljhs/WonWorld/earth's_structure.htm)

Este mapa ilustra a distribuição global das placas tectônicas. As placas são representadas por áreas cinzas com contornos pretos que indicam suas fronteiras. O Equador é traçado horizontalmente pelo meio da imagem. As placas identificadas incluem:

- Placa Eurasiática**: Localizada no norte e leste da Europa.
- Placa Africana**: Situada na África.
- Placa Australiana**: Localizada na Austrália e partes da Ásia.
- Placa Antártica**: Cobrindo o continente antártico.
- Placa Sul Americana**: Localizada na América do Sul.
- Placa de Scotia**: Pequena placa localizada entre a América do Sul e a África.
- Placa de Nasca**: Localizada no oeste da América do Sul.
- Placa do Pacífico**: Uma grande placa que cobre uma vasta área do oceano Pacífico.
- Placa Indiana**: Localizada no sul da Ásia.
- Placa Arábica**: Situada no Oriente Médio.
- Placa Caribenha**: Localizada no Caribe.
- Placa Juan de Fuca**: Pequena placa no noroeste da América do Norte.
- Placa Cocos**: Localizada no México central.
- Placa das Ilhas Filipinas**: Localizada no sudeste da Ásia.
- Placa Curassibica**: Localizada no norte da América do Sul.
- Placa Norte-americana**: Cobrindo a América do Norte.

(disponível em http://gl.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Plates_tect2_gl.svg)

A energia libertada durante um sismo irradia em todas as direcções na forma de ondas sísmicas que se propagam do interior da terra até à sua superfície podendo provocar danos em estruturas e graves impactos socioeconómicos.

1.2 Principais impactos de um sismo

Num cenário pós-sismo, uma das funções mais importantes das autoridades é a evacuação de feridos e remoção de mortos (Tung, 2004). Os impactos físicos na população decorrem, não das ondas sísmicas em si mesmas, mas de colapsos de estruturas tais como edifícios, passagens superiores de peões e viadutos. Uma vez que a rede viária tem um papel importante na evacuação de feridos, a avaliação do funcionamento desta num cenário pós-sismo é crucial. Este fluxo viário poderá ser em dois sentidos, ou em direcção aos hospitais a fim de serem prestados cuidados de saúde a feridos, ou no caso de o hospital ficar inoperacional, o fluxo será no sentido de evacuar os seus doentes para outras unidades de saúde.

A causa principal de morte são as lesões causadas pelo colapso de edifícios (Coburn & Spence, 2002);

(Wang, Li, Chao, & Yang, 2009) indica que a taxa de sobrevivência de um grupo populacional sujeito à acção de um sismo, tem uma relação significativa com o tempo de evacuação.

Tabela 1.1: Relação entre tempo de evacuação e taxa de sobrevivência (Wang, Li, Chao, & Yang, 2009)

Tempo de evacuação	Taxa de sobrevivência
Meia hora	95%
Um dia	81%
Dois dias	53%
Três dias	36,7%
Quatro dias	19%

Apontam também a necessidade de se criar um ou mais corredores rodoviários de evacuação para serem utilizados em fase pós sismo, diferentes dos sistemas de transporte tradicionais. Linhas de metro ou ferroviárias podem ficar danificadas e só podem ser utilizadas depois de inspeccionadas, meios aéreos têm capacidade limitada e

constrangimentos geográficos, meios marítimos raramente são considerados no processo de evacuação, pois também apresentam, ou podem apresentar, constrangimentos geográficos. Restam assim os sistemas de transporte rodoviários, que têm maior redundância face aos meios de transporte anteriores. Torna-se assim evidente que estes sistemas de transporte são de extrema importância para a evacuação em caso de sismo (Wang, Li, Chao, & Yang, 2009).

Deve-se executar um plano de evacuação da seguinte forma: em primeiro lugar os feridos devem ser retirados dos escombros para hospitais de campanha ou locais pré-determinados para a sua evacuação. Estes espaços devem estar perto de vias acessíveis a ambulâncias ou a outros veículos de emergência. Depois de serem aplicados os primeiros-socorros e triagem os feridos devem ser evacuados para um hospital por ambulâncias ou por outros veículos em caso de estas não estarem disponíveis (Tung, 2004).

Como já referido anteriormente é possível apresentar estimativas, calcular probabilidades e até mesmo realizar simulações que nos proporcionem cenários que mostrem quais os efeitos de um sismo num dado local.

Foi partindo deste princípio que o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em 2004, dada a existência da ameaça sísmica no território do continente, conjugada com a necessidade de avaliar o risco sísmico de Portugal continental, justificou a oportunidade de desenvolver no LNEC um Simulador de Cenários Sísmicos, LNECloss, que tem a capacidade de modelar, numa qualquer parcela do continente Português, a acção sísmica, os danos no edificado, as perdas humanas e as perdas económicas em consequência de um cenário sísmico de ocorrência especificado (Lopes, 2008).

Em 2005 o LNEC disponibilizou algumas projecções em termos de danos humanos, materiais e económicos, tendo em conta a ocorrência de um terramoto semelhante ao de 1755 (Campos Costa, Sousa, Carvalho, & Coelho, 2010).

Em 2009, e baseado em parte no estudo anterior, a Autoridade Nacional para a Protecção Civil, ANPC, elaborou o Plano Especial de Emergência para o Risco Sísmico na Área Metropolitana de Lisboa e Concelhos Limítrofes (PEERS – AML – CL instrumento de suporte ao Sistema de Protecção Civil para a gestão operacional em caso da ocorrência de um evento sísmico na região em apreço).

Ainda que estes números pareçam altos são bastante conservadores pois o simulador do LNEC limitou-se a considerar o parque habitacional excluindo edifícios de escritórios, centros comerciais, hospitais, escolas e instalações desportivas, não tendo em conta também o estado de conservação dos edifícios. Em Lisboa uma percentagem significativa do edificado é inseguro, apresenta sinais de degradação acentuada e contem um número significativo de prédios devolutos. Todos estes factores, em caso de evento sísmico, contribuirão para o aumento do número de danos no edificado (Lopes, 2008), (George, 2011).



6

1.3 Zonas de risco em Lisboa, definição e caracterização da área de estudo

O concelho de Lisboa (Figura 1.6) tem 83,84 km² de área e apresenta uma densidade demográfica de 6531,9 hab./km². Subdivide-se em 24 freguesias e faz fronteira a norte com os municípios de Odivelas e Loures, a oeste com Oeiras, a noroeste com a Amadora e a sudeste com o estuário do Tejo. Por este estuário Lisboa une-se aos concelhos da Margem Sul: Almada, Seixal, Barreiro, Moita, Montijo e Alcochete. Segundo os censos de 2011 conta com uma população residente de 547.631 pessoas (Instituto Nacional de Estatística, 2012) e uma população flutuante de cerca 2.1 milhões de pessoas (Instituto Nacional de Estatística, 2012).

Segundo (Lopes, 2008) e (George, 2011) os resultados do simulador do LNEC identificam as freguesias da Pena (zona a norte do Martim Moniz, abrangendo por exemplo o Hospital S. José, o Campo de Santana e o Paço da Rainha), de Santo Estevão (em Alfama) e de Carnide como as zonas com maiores percentagens de colapso de edifícios para um sismo idêntico ao de 1755. Logo a seguir surgem as freguesias de Santiago, S. Cristóvão e S. Lourenço, S. Miguel, Sé, Madalena, Socorro, S. Nicolau, Mártires, Encarnação, S. Paulo, Santa Catarina, Santos-o-Velho, S. Mamede, Santa Justa, Anjos, Penha de França, Campolide, Alcântara, Ajuda. Menos afectadas serão, em princípio, as zonas de Benfica, S. Domingos de Benfica, S. João de Brito e S. Francisco Xavier (Figura 1.7).

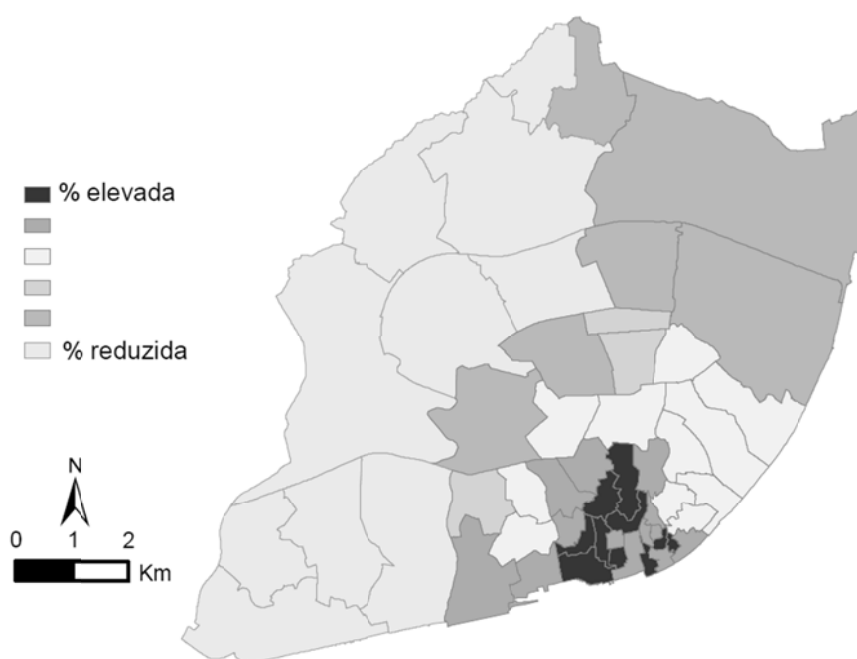


Figura 1.7: Percentagem de colapso de edifícios de habitação devido à acção sísmica semelhante à do terramoto de 1755 (Campos Costa, Sousa, Carvalho, & Coelho, 2010)

O hospital de S. José, situado na freguesia da Pena, uma das principais unidades de saúde da Área Metropolitana de Lisboa, será seguramente um dos casos mais problemáticos. Não só devido ao facto de estar localizado numa zona de grande risco sísmico mas também porque o estado de conservação do edificado naquela zona é muito baixo. As suas condições de acessibilidade são muito limitadas pelo que as vias poderão ficar obstruídas pela queda de escombros.

Para o cenário de obstrução acima referido levanta-se a questão da transferência de doentes deste hospital para outras unidades de saúde hospitalar. Esta transferência poderá surgir do facto de existirem impactos no próprio hospital e por conseguinte não se poder assegurar após um sismo os cuidados necessários aos seus doentes.



Figura 1.8: Área de estudo

Tendo em conta estes cenários optou-se por estudar os impactos de um sismo nas vias de acesso à zona envolvente ao Hospital S. José (freguesia da Pena), e dada a proximidade de outros hospitais públicos de relevância, Hospital dos Capuchos (freguesia de S. José), Hospital de Sta. Marta (freguesia do Coração de Jesus) e o Hospital Dona Estefânia (freguesia de São Jorge de Arroios) Figura 1.8 estes foram também incluídos no estudo.

A área em estudo caracteriza-se pela existência de vias estreitas, muitas vezes ladeadas por edifícios de altura considerável, pelo que os veículos poderão enfrentar dificuldades de acesso nas acções de emergência num cenário pós sismo.

Após um sismo poderão existir as seguintes dificuldades na circulação rodoviária (Tung, 2004):

- **Vias bloqueadas por edifícios colapsados.** Uma vez que os edifícios estão na maior parte dos casos muito perto das vias os escombros destes podem ocupar parte ou toda a superfície da via impedindo ou condicionado a circulação de veículos. Além disso, na zona em estudo (principalmente na parte Sul) os edifícios são antigos, a grande maioria ainda pré-pombalina, não respeitando portanto nenhum regulamento de construção específico, e ainda menos os regulamentos anti-sísmicos. Estes edifícios têm muito maior probabilidade de colapsarem em caso de sismo (Figura 1.7).
- **Deformação e Ruptura de vias.** Por movimentos de terra ou fenómenos de liquefacção. Estes fenómenos são muito comuns em todos os grandes sismos causando nalguns casos grandes danos. Os efeitos destrutivos da liquefacção dos solos no sismo de 1964 em Niigata no Japão causaram mais de \$1 bilião em danos, na sua grande maioria provocados pela liquefacção de solos generalizada. Nestes casos a pavimentação de segmentos de via pode sofrer deformações, pequenas fissuras, inclusive rupturas e aparecimento de grandes áreas deformadas que tornem a via intransitável.
- **Pessoas reunidas na via.** Após um sismo as pessoas tendem a vir para as ruas com medo que as suas casas possam colapsar a qualquer momento por causa de danos sofridos durante o sismo principal ou por causa de possíveis réplicas tal como aconteceu no sismo de Sumatra, Indonésia em Dezembro de 2004 e no de Sichuan, China em 2008 (Hyndman & Hyndman, 2010, pp. 98-100, 123-125).

- **Colapso de pontes/viadutos.** As pontes/viadutos são componentes fundamentais na rede rodoviária. Uma vez que a ponte/viaduto esteja danificada ou colapsada grande parte da rede pode ser interrompida. No entanto é de notar que tem existido uma maior preocupação com a redundância destes sistemas como demonstrado por (Langenheim, 1995) e (McDonough, 2002, p. 36)
- **Obstáculos causados por instalações destruídas, como postes de iluminação, postes eléctricos, ou vedações.** Uma vez que estão geralmente localizados perto das vias existe uma alta probabilidade que causem constrangimentos ou impedimentos na circulação de veículos (Tung, 2004).

Pode concluir-se que existem vários factores que podem afectar a possível ocupação das vias. No entanto, ainda assim, não é possível, por exemplo, estimar o número de pessoas que se reúnem nas vias após um sismo. Esta variável dependerá, entre vários factores, da hora do sismo, do tipo de cidade e de sociedade. Uma população informada acerca de medidas de autoprotecção adopta medidas que não estarão presentes em povos de países em desenvolvimento, (Ohta & Omote, 1977). (Rehman, Sultana, Hussain, & Shah, 2011) e (Bolton, 1993). É difícil estimar em que secção da via é que vai existir uma concentração de população. Os constrangimentos causados pelo colapso de postes de iluminação, postes eléctricos, vedações ao longo das vias referentes ao colapso/desabamento de pontes e viadutos, e à ruptura de vias, não serão considerados no presente trabalho.

Devem existir várias rotas alternativas para permitir a evacuação dos mortos e feridos desde os locais de evacuação para os hospitais ou destes para outros locais. Por essa razão, planear a utilização de vias adequadas para veículos de emergência é crucial para minimizar o tempo de viagem e aumentar a eficácia das actividades de socorro e evacuação.

Para identificar as vias mais importantes para o estabelecimento de corredores de emergência, é necessário (Tung, 2004):

- Estimar as ocupações encontradas ao longo do percurso.
- Prever locais de ajuda temporários (Alesch, Arendt, & Petak, 2011, p. 97). Há autores (Tung, 2004) que questionam se a criação deste tipo de locais não será mais eficaz do que o transporte dos pacientes para o hospital.
- Encontrar o caminho mais funcional num cenário pós-sismo. (Tung, 2004) e (Wang, Hu, & Xie, 2009).

- A velocidade dos veículos de emergência é a base para o cálculo do caminho mais curto. Esta velocidade é estimada com base em três factores: nível de ocupação por edifícios desmoronados, ruptura da via e velocidade normal de tráfego em cenário diário (Tung, 2004).

2 Enquadramento teórico

Existem vários métodos para proceder à avaliação do risco sísmico, desde os mais simples aos mais complexos. Apresentam-se de seguida alguns exemplos destes métodos:

- O método desenvolvido pela Japan International Cooperation Agency, JICA (Japan International Cooperation Agency (JICA), 2002);
- O RADIUS (1996), método desenvolvido pela United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (United Nations (UN), 1999);
- O HAZUS, método desenvolvido pela Federal Emergency Management Agency (FEMA) em conjunto com o National Institute for Building Sciences (NIBS, 1999) (Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2012).

2.1.1 O método desenvolvido pela JICA

Este método foi desenvolvido tendo por base o trabalho *The study on earthquake disaster mitigation* (Japan International Cooperation Agency (JICA), 2002) que foi desenvolvido para o vale de Katmandu, Nepal.

Esta metodologia destina-se a ser aplicada em cidades. A vulnerabilidade das vias é realizada com base na classificação das vias (auto-estradas; IP's; IC's, etc...) e na sua importância no caso da ocorrência de um sismo.

A vulnerabilidade é avaliada com base na probabilidade de existir ruptura de taludes instáveis ao longo das vias (Tung, 2004).

2.1.2 O método desenvolvido pela RADIUS

O projecto RADIUS foi lançado pelo secretariado da International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR). O Principal objectivo deste programa é o de promover mundialmente actividades que reduzam o risco sísmico em zonas urbanas, particularmente em países em desenvolvimento (UNISDR, 1999).

O risco sísmico urbano está rapidamente a crescer, em particular nos países em desenvolvimento, com o aumento do número de mega-cidades. Quase metade da população mundial vive em cidades, onde todo o tipo de actividades humanas estão concentradas. Assim as cidades tornam-se cada vez mais vulneráveis a catástrofes, particularmente a sismos. Uma vez que um sismo se dê perto de uma grande cidade, os danos podem ser tremendos, tanto em termos humanos, como económicos. Mesmo um

sismo de média intensidade pode causar grandes danos a uma cidade, vejam-se os casos do sismo de Kobe, Japão, 1995 e o de Kocaeli, Turquia, 1999 (UNISDR, 1999).

Este método destina-se essencialmente a países em desenvolvimento ou comunidades pequenas (Tung, 2004).

No método RADIUS, com o uso da Intensidade de Mercalli Modificada como função de perigo, a apreciação dos danos é subjectiva pois é baseada nos levantamentos macrossísmicos que para alguns efeitos, principalmente para sismos apenas sentidos, podem variar de pessoa para pessoa. Esta escala de efeitos varia também com diferentes métodos construtivos, em que para o sismos da mesma magnitude irão ser observadas intensidades muito diferentes. No entanto é de muito mais fácil aplicação.

A metodologia RADIUS quando utilizada para definir perdas de edificado pode ser dividida em 10 passos (Westen, Siefko, Horn, & Boerboom, 2003).

- **Passo 1:** Definir o cenário de sismo. Localização do epicentro, magnitude e profundidade.
- **Passo 2:** Calcular a atenuação usando a função de Joyner & Boore (1981).
- **Passo 3:** Calcular os efeitos de amplificação devido às condições locais do solo (usando o mapa de solos).
- **Passo 4:** Converter a Aceleração de Pico do Solo (APS) em Intensidade de Mercalli Modificada (MMI).
- **Passo 5:** Aplicar as funções de vulnerabilidade para edifícios.
- **Passo 6:** Aplicar as funções de vulnerabilidade para infra-estruturas.
- **Passo 7:** Aplicar as funções de vulnerabilidade para baixas humanas.
- Se existir informação adicional acerca de custos e da APS para diferentes períodos de retorno, a análise pode ser prolongada com os seguintes passos.
- **Passo 8:** Aplicar as informações de danos nos edifícios e combiná-las com as funções de vulnerabilidade para calcular as perdas para diferentes períodos de retorno.
- **Passo 9:** Combinar a informação de perdas para diferentes períodos de retorno e calcular o risco adicionando as perdas para estes períodos.
- **Passo 10:** Combinar informação e tirar conclusões.

Na execução da presente tese este método foi em parte simplificado, por já existirem e estarem disponíveis dados acerca das perdas no edificado na área em análise (Campos Costa, Sousa, Carvalho, & Coelho, 2010).

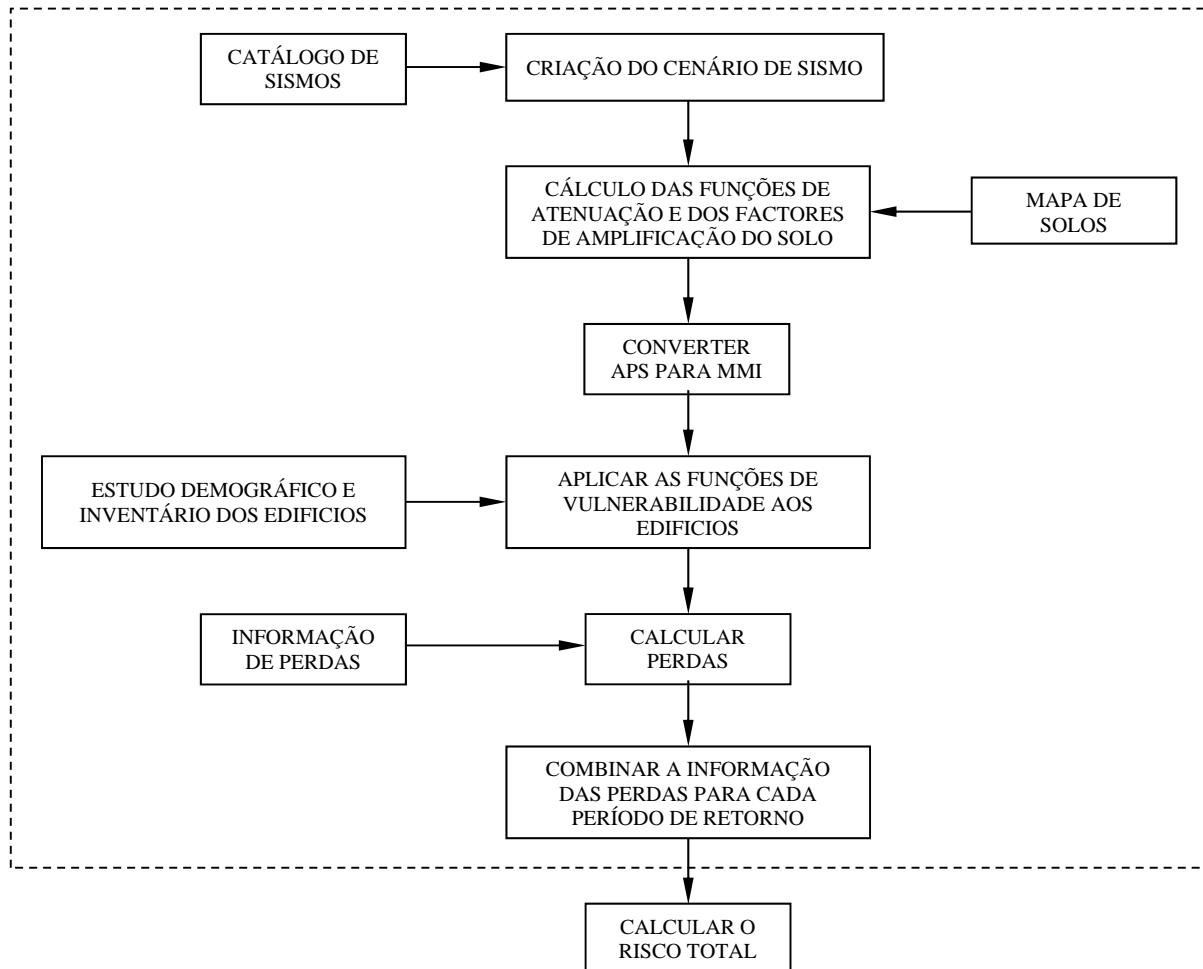


Figura 2.1: Diagrama esquemático da metodologia RADIUS (Tung, 2004)

2.1.3 O método desenvolvido pela HAZUS

Este método estima o risco em três etapas:

- Primeiro, calcula a exposição para uma área seleccionada.
- Em segundo, caracteriza o nível ou a intensidade do risco que afecta a área exposta.
- E em terceiro lugar, utiliza a área exposta ao perigo para calcular as perdas potenciais em termos de perdas económicas, danos estruturais, etc.

Nesta metodologia as vias são classificadas como vias principais e vias urbanas. As vias principais incluem, IP's, IC's e as vias urbanas, além de incluírem as vias dentro das

idades incluem também todas as vias que tenham apenas duas ou menos faixas de rodagem, EN's e ER's.

Este método baseia-se na aplicação de funções de vulnerabilidade que levam em conta a aceleração de pico do solo a aceleração espectral e a deformação de pico do solo (DPS) e que estão definidas no *HAZUS 99 Technical and User's Manual* (National Institute of Building Sciences (NIBS), 1999).

Este método não é susceptível de ser aplicado directamente a cidades fora dos Estados Unidos, pois as funções de vulnerabilidade (Figura 2.2) estão definidas para edifícios, pontes e vias aplicáveis à realidade dos Estados Unidos. Para a criação de cenários realistas noutros países devem ser criadas funções de vulnerabilidade adequadas às estruturas e infra-estruturas do país onde vai ser feito o estudo, de modo a se conseguirem gerar cenários de danos mais realistas (Malladi, 2012, p. i)

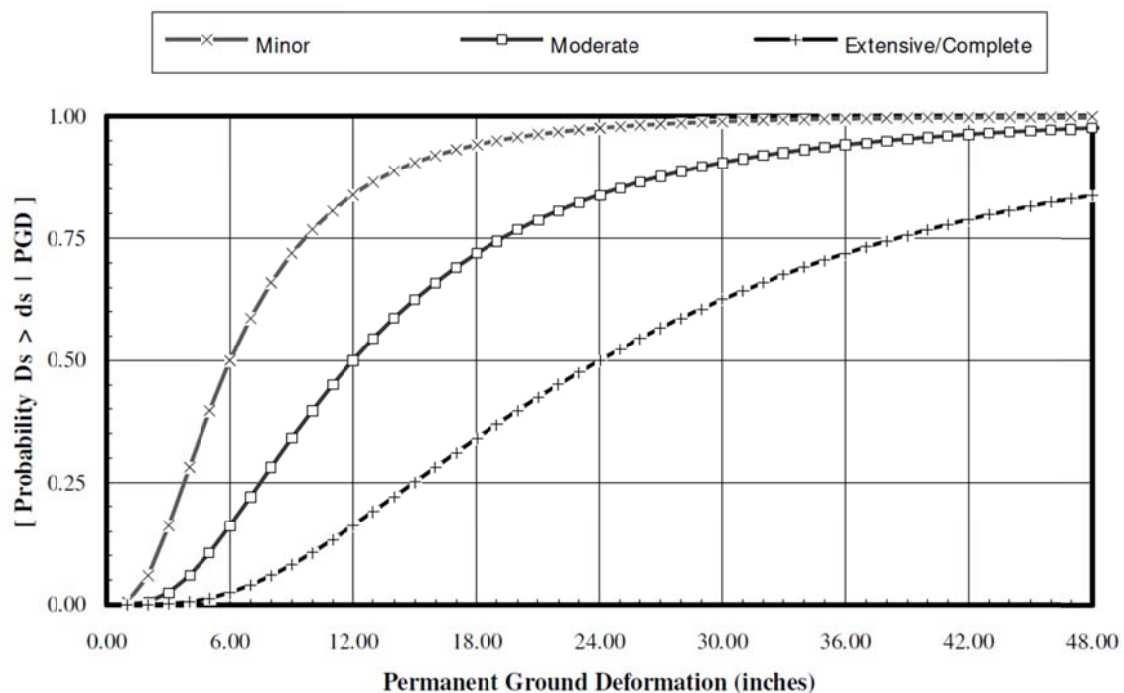


Figura 2.2: Curvas de fragilidade para diversos estados de dano para vias urbanas (National Institute of Building Sciences (NIBS), 1999)

Segundo (Tung, 2004), este método requer mais dados quando comparando com o RADIUS.

3 Metodologia utilizada

Para se proceder ao levantamento e caracterização do edificado existente na área de estudo, nomeadamente a dimensão dos edifícios em planta, a altura, e o tipo de construção, dividiu-se essa área em unidades menores de análise, as unidades homogéneas.

Cada unidade homogénea deverá ser constituída pelo mesmo tipo de edificado, pelo mesmo tipo de utilização e pelo mesmo tipo de material de construção. No entanto, dificilmente se encontrarão estas unidades homogéneas pois normalmente serão uma mistura de diferentes edifícios, de diferentes períodos de construção, com diferentes utilizações e de diferentes materiais (Guragain J. , 2004).

3.1 Determinação das unidades homogéneas, estimativa de colapsos e caracterização dos edifícios

Para a determinação das unidades homogéneas utilizou-se a seguinte metodologia.

- Ruas, vias e caminhos, foram tomados como linhas de fronteira para definir os limites das unidades homogéneas.
- Em cada unidade foi medida a percentagem de zona edificada e de zona não edificada assim como calculada a percentagem do tipo de material construtivo de cada edifício.

Os edifícios da cidade de Lisboa podem ser divididos em 5 períodos de construção:

- Pré-pombalinos de alvenaria de pedra, anteriores a 1755,
- Pombalinos (1755 a 1880), de alvenaria com estrutura de madeira de características anti-sísmicas (“Gaiola Pombalina”),
- Gaioleiros (1880 a 1940), de alvenaria com estrutura em madeira, representando uma adulteração das técnicas de construção pombalinas,
- Mistos (1940 a 1960), de alvenaria, com pavimentos e elementos salientes em betão
- Betão armado a partir de 1960, de estrutura porticada, com paredes e elementos resistentes em betão.

No entanto, e tendo em conta a natureza e objectivos do presente trabalho e o método seguido, optou-se por se diferenciar os edifícios em 2 tipos, os de alvenaria e os de betão armado.

- Foram contados todos os edifícios de cada unidade homogénea, numerados sequencialmente, caracterizados e foi atribuído um número único sequencial a todas as unidades homogéneas.
- O tamanho das unidades foi definido considerando a densidade de edifícios em cada unidade, zonas com menor densidade serão maiores.
- Jardins e espaços verdes não foram incluídos no interior das unidades homogéneas, em parte por não existir edificado neles que contribuisse para a ocupação das vias e também porque poderão a vir a servir ou ser a indicados como locais preferenciais para instalação de zonas de apoio ou mesmo hospitais de campanha em caso de catástrofe.
- Vias sem saída dentro de unidades não foram contabilizadas como vias, e a sua área foi contabilizada como espaço não edificado.

3.1.1 Definição de áreas homogéneas

Com base na localização do hospital de S. José, determinaram-se as unidades homogéneas circundantes e tiveram-se em conta as unidades homogéneas comuns a outras unidades hospitalares.

3.1.2 Levantamento do número de edifícios existentes por unidade homogénea e sua caracterização

Após definidas as áreas homogéneas procedeu-se à contagem do número total de edifícios existentes em cada uma delas, com base numa carta topográfica à escala 1:1000 (Instituto Superior Técnico (IST), 2007).

Para se proceder à identificação do tipo de edifício (alvenaria ou betão armado), número de pisos e por vezes confirmar localizações de estruturas, foi usado o programa *Google Maps* e sua aplicação *Street View*, o sítio *Bing Maps* e visitas de campo. Foi necessário nesta fase proceder à identificação e visualização de todos os edifícios existentes nas vias em análise

3.2 Definição da área de estudo

A área de estudo foi definida com base na localização dos hospitais de S. José, dos Capuchos, de Sta. Marta, da Estefânia, seus acessos e tendo em conta a distribuição das unidades homogéneas (Figura 3.1). Esta área distribui-se por 4 freguesias: S. José, S. Jorge de Arroios, Pena e Coração de Jesus (Figura 3.2).



Figura 3.1: Área de estudo e definição das unidades homogêneas

3.3 Método de estudo

Segundo (Tung, 2004), uma rota consiste numa série de segmentos de via contínuos. Para calcular os impedimentos na via temos que estimar as ocupações de cada segmento.

A probabilidade de existirem escombros de edifícios a bloquear vias depende dos seguintes factores:

- Das características dos edifícios ao longo da via. Por exemplo, a presença de edifícios estruturalmente mais fracos (adobe, alvenaria, etc.) ou edifícios estruturalmente mais fortes (betão armado, aço).
- Do número de edifícios que colapsam. Quanto maior o número, maior é a probabilidade da ocupação das vias.
- Da relação entre a altura do edifício e a distância da sua fachada ao eixo da via. Quanto maior este índice, $\left(\frac{\text{Altura do edifício}}{\text{Distância da fachada ao eixo da via}} \right)$ maior a probabilidade de existirem escombros a bloquear as vias.

O nível de ocupação das vias pode ser expresso pela seguinte expressão:

Nível de ocupação da via = Densidade de edifícios que colapsaram + características dos edifícios + distância relativa entre a via e os edifícios colapsados (Tung, 2004)

Note-se que o tipo de construção também é tido em conta. Mesmo quando se estima o número de edifícios colapsados, o tipo de construção é considerado. No entanto, a forma do amontoado de detritos ou a forma de colapso são diferentes consoante os diferentes tipos de construção.

A densidade de edifícios colapsados (numero de edifícios colapsados por unidade de área) ao longo da via é um dos factores que determinam a percentagem daquele segmento de via que será afectado por uma ocupação de escombros.

Para a determinação da ocupação das vias por escombros é necessário proceder ao cálculo da **ocupação longitudinal e lateral**. Com base nestas duas variáveis e numa matriz construída para o efeito, calcula-se o nível de ocupação final das vias.

3.3.1 Cálculo da ocupação longitudinal

Para calcular a ocupação longitudinal, determina-se em primeiro lugar o número de edifícios colapsados por unidade homogénea.

3.3.1.1 Determinação de valores de colapsos de edifícios

Para se definirem os valores de colapsos por unidade homogénea, que se utilizam no presente estudo, consultaram-se estimativas de percentagem de colapsos de edifícios por freguesia disponibilizadas em várias publicações (Sousa, Costa, & Martins, 2004) e (Lopes, 2008), (Figura 3.2). Estas percentagens dizem respeito a um cenário sísmico semelhante ao sismo de 1755. A área de estudo distribui-se pelas 4 freguesias já referidas, a freguesia de S. Jorge de Arroios com uma percentagem de colapsos estimada de 4 a 5%, as freguesias de Pena e S. José com uma percentagem de 10 a 15%, e a freguesia do Coração de Jesus com uma percentagem de 5 a 10%. (Lopes, 2008).

Os valores de colapsos utilizados no presente trabalho são 5, 10 e 15% do total do edificado presente nas áreas homogéneas, de modo a abranger todos os valores acima referidos.

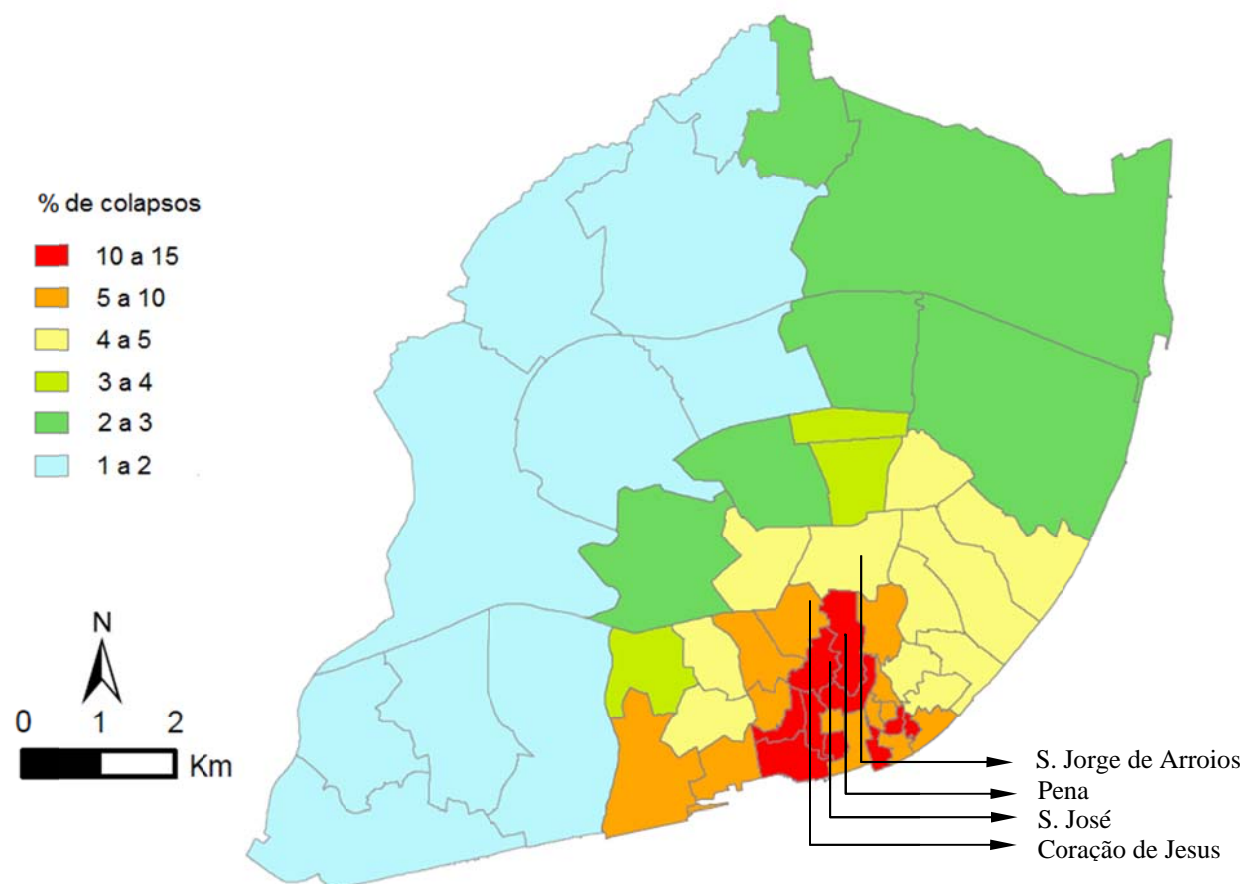


Figura 3.2: Percentagem de colapsos por freguesia (Lopes, 2008)

Com estes valores estabelecidos podemos então passar a calcular a ocupação lateral, mas antes temos de calcular as seguintes variáveis:

3.3.1.2 Área ocupada pelos edifícios colapsados - A_c

Cálculo da relação entre o número de edifícios colapsados e o número total de edifícios presentes na unidade, A_c .

Equação 3.1: A_c - Área ocupada pelos edifícios colapsados

$$A_c = \frac{N_{cb}}{N_b} A_b$$

Em que:

N_{cb} : Número de edifícios colapsados por unidade homogénea

N_b : Número total de edifícios na unidade homogénea

A_b : Área total ocupada por todos os edifícios na unidade homogénea

3.3.1.3 Densidade de colapso por área - P_A

Para calcular a densidade de colapso por área, P_A , é feita a relação entre a área ocupada pelos edifícios colapsados A_c e a área total da unidade homogénea A_{unit} .

Equação 3.2: P_A - Densidade de colapso por área

$$P_A = \frac{A_c}{A_{unit}}$$

Em que:

A_c : Área ocupada pelos edifícios colapsados

A_{unit} : Área total da unidade homogénea

3.3.1.4 Densidade de colapso linear - P_L

Através da densidade de colapso por área P_A podemos calcular a densidade de colapso linear P_L da seguinte forma:

Equação 3.3: P_L – Densidade de colapso linear

$$P_L = k\sqrt{P_A}$$

Em que:

P_L : Densidade de colapso linear (relação entre a densidade de colapso por área P_A e o número de edifícios colapsados por unidade linear)

k : Factor correctivo que tem em conta a comparação entre a densidade de edifícios ao longo da via e a densidade de edifícios no interior da unidade:

- $k = 0,9$: A densidade ao longo da via é menor que no interior;
- $k = 1,0$: A densidade ao longo da via é igual à do interior;
- $k = 1,1$: A densidade ao longo da via é um pouco maior que do interior;
- $k = 1,2$: A densidade ao longo da via é muito maior que no interior.

No presente trabalho, para a obtenção do factor correctivo k utilizou-se uma planta da cidade de Lisboa à escala 1/1000 e teve-se em conta as densidades presentes ao longo da via e no interior das unidades homogéneas.

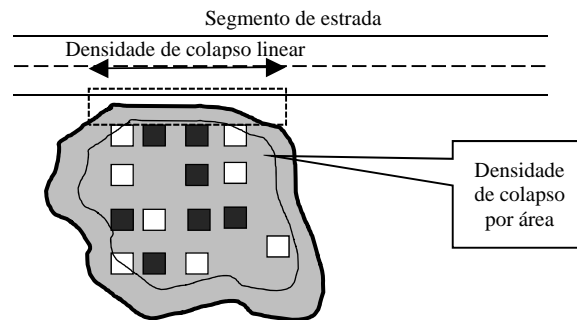


Figura 3.3: Densidade de colapso linear (Tung, 2004)

O valor de P_L indica-nos a probabilidade de uma parte de um segmento de via ficar bloqueado por escombros, e é medido como uma percentagem de ocupação. Este tipo de ocupação é chamada **ocupação longitudinal**.

3.3.1.5 Ocupação longitudinal

Com base no valor da densidade de colapso linear P_L podemos classificar a severidade da ocupação longitudinal de um lado da via da maneira seguinte:

- $P_L < 0,30$ Baixa densidade de detritos ao longo da via;
- $0,30 < P_L < 0,50$ Moderada densidade de detritos ao longo da via;
- $P_L \geq 0,50$ Elevada densidade de detritos ao longo da via;

Para o cálculo da classificação do grau de severidade da ocupação longitudinal para os dois lados da via utiliza-se a Tabela 3.1

Tabela 3.1: Ocupação longitudinal dos detritos (Tung, 2004)

Severidade da ocupação longitudinal		Ocupação longitudinal lado Esquerdo		
		Baixo	Moderado	Elevado
Ocupação longitudinal lado Direito	Baixo	Baixo	Baixo	Moderado
	Moderado	Baixo	Moderado	Elevado
	Elevado	Moderado	Elevado	Elevado

3.3.2 Cálculo da ocupação lateral

Para o cálculo da ocupação lateral é necessário descrever algumas variáveis essenciais para a sua determinação, nomeadamente a altura dos edifícios, a relação entre o tipo de colapso e o material de construção, o efeito das consolas no tipo de colapso e a distância relativa entre a via e os edifícios existentes ao longo das vias estudadas.

3.3.2.1 Altura dos edifícios

Um factor importante para a determinação da ocupação é a altura dos edifícios H_E ao longo de uma via. O número médio de pisos dos edifícios ao longo de uma via é calculado através de uma média de pisos de todos os edifícios existentes na unidade homogénea.

Considerou-se que a altura média de um piso é de 3 metros. Calcula-se então a altura média utilizando-se a seguinte relação:

Equação 3.4: H_E – Altura média dos edifícios na Unidade Homogénea

$$H_E = \frac{\sum \text{número pisos dos edifícios}}{\text{número de edifícios na unidade homogénea}} \times 3$$

A largura da pilha de detritos W_D foi estimada com base em imagens de formas e tamanhos de pilhas de escombros de edifícios colapsados em sismos históricos (Tung, 2004). Assim sendo, ao relacionar a altura do edifício e o seu material de construção consegue-se estimar a largura média da pilha de detritos.

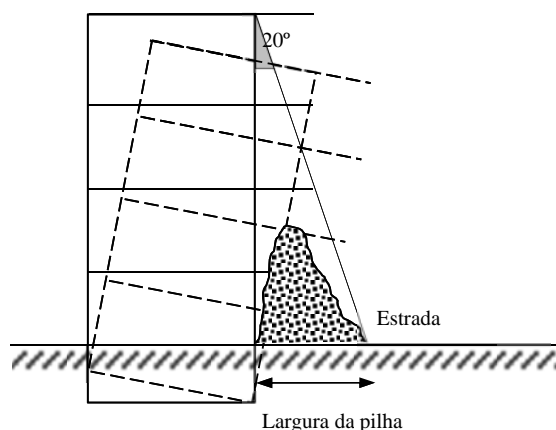


Figura 3.4: Estimativa da largura da pilha de detritos (Tung, 2004)

O ângulo formado entre a fachada do edifício e a linha que liga o ponto mais afastado da pilha de detritos foi assim estimado em 20° (Figura 3.4). Neste caso a altura do

edifício é a altura média calculada anteriormente. Assim, a largura da pilha de detritos é calculada da seguinte maneira:

Equação 3.5: W_D – Largura da pilha de detritos

$$W_D = H_E \cdot \tan 20^\circ$$

W_D : Largura da pilha de detritos

H_E : Altura média dos edifícios na Unidade Homogénea

Cada edifício foi classificado quanto ao seu tipo de material construtivo e quanto à existência ou não de consolas.

3.3.2.2 Relação entre o tipo de colapso e o material de construção

Na avaliação da ocupação da via considera-se outro factor, o factor de material M , que relaciona o tipo de material de construção da estrutura do edifício com a área de escombros ocupada após o colapso. Edifícios de alvenaria são susceptíveis de se desintegrar e cair verticalmente, de modo que é provável que o entulho não se estenda para muito longe do plano de construção (Figura 3.5). Enquanto isso, estruturas mais rígidas de edifícios de betão armado ou aço, são susceptíveis de se inclinar e colapsar na direcção das vias (Figura 3.6) podendo assim ocupar grandes áreas. Estas estruturas rígidas requerem muito mais energia para atingir o ponto de rotura, isto leva a que os detritos possam ser projectados para longe da posição do edifício original, o que consequentemente leva a uma maior dimensão do amontoado de detritos e a uma maior probabilidade da ocupação da via.

Por essa razão, os valores para o factor de material M são:

- Para edifícios em betão armado e aço é 1,3;
- Para edifícios em alvenaria é 1,1.



Figura 3.5: Edifício de alvenaria colapsado
(Arménia, 1988) (Tung, 2004)



Figura 3.6: Edifício de betão armado colapsado
(Tajisquistão, 1985) (Tung, 2004)

3.3.2.3 Efeito das consolas

Assume-se que a percentagem de edifícios com consolas que foram contados em cada unidade homogénea é a igual à percentagem de edifícios com consolas em ambos os lados das vias. Por exemplo, se de acordo com a contagem em planta ou verificação em campo se verificar que 30% dos edifícios na unidade homogénea tem consolas, assume-se que existem também 30% dos edifícios com consolas ao longo da via (Figura 3.7).

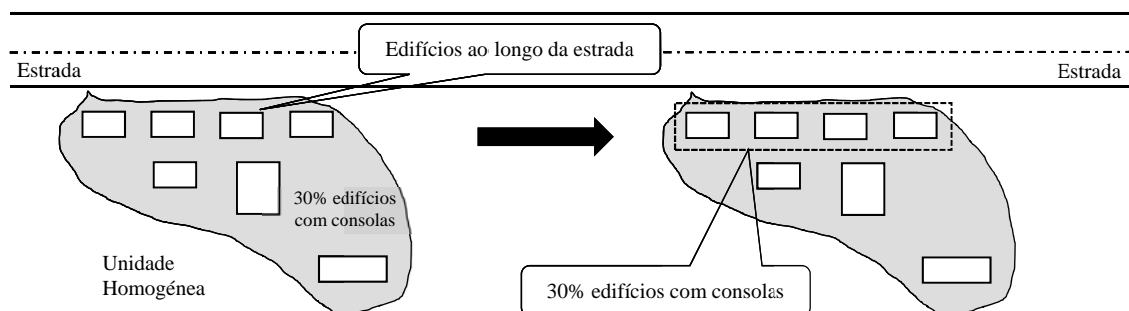


Figura 3.7: Edifícios ao longo da via (Tung, 2004)

Há autores que consideram que as consolas têm efeitos negativos na resistência sísmica dos edifícios (Homeland Security Department, Federal Emergency Management Agency, 2006, p. 177) e (Agarwal & Shrikhande, 2006, p. 209). Quando se compara a influência de uma mesma acção sísmica em edifícios semelhantes com consolas e sem elas, verifica-se que o edifício com consolas é mais susceptível ao colapso (Tung, 2004). Uma vez que o braço da força e a carga são maiores, o edifício com consolas, vai sofrer um momento de maior intensidade (Figura 3.8).

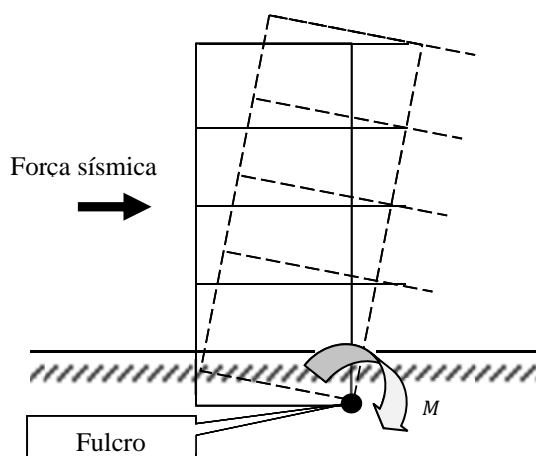


Figura 3.8: Edifício com consolas entra em colapso (Tung, 2004)

Na avaliação da probabilidade da ocupação da via por detritos é introduzido um factor C com base na percentagem de edifícios com consolas que existem em cada unidade

homogénea. Se o número de edifícios com consolas estiver entre 0% e 30% do total, C tomará o valor de 1,1. Se essa percentagem for superior, C será de 1,5.

3.3.2.4 Distância relativa entre a via e os edifícios

A distância entre os edifícios e a via é uma medida fundamental para determinar a possibilidade da ocupação da mesma. Quanto maior a distância menor a probabilidade de ocupação (Figura 3.9).

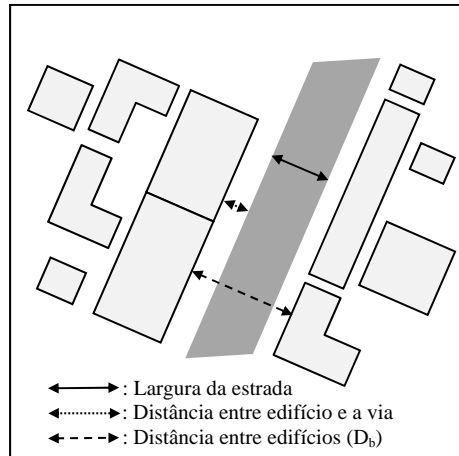


Figura 3.9: Comparação entre largura da via e distância entre edifícios (Tung, 2004)

O mesmo se passa com a distância entre edifícios opostos dos dois lados da via. A distância D_B (Figura 3.10) representa a largura disponível para a passagem de viaturas num cenário pós-sismo. Nestes cenários considera-se que os veículos de emergência utilizam também a largura adicional dos passeios para se deslocarem.

Estas distâncias foram medidas para todas as vias estudadas na planta da cidade de Lisboa à escala 1/1000.

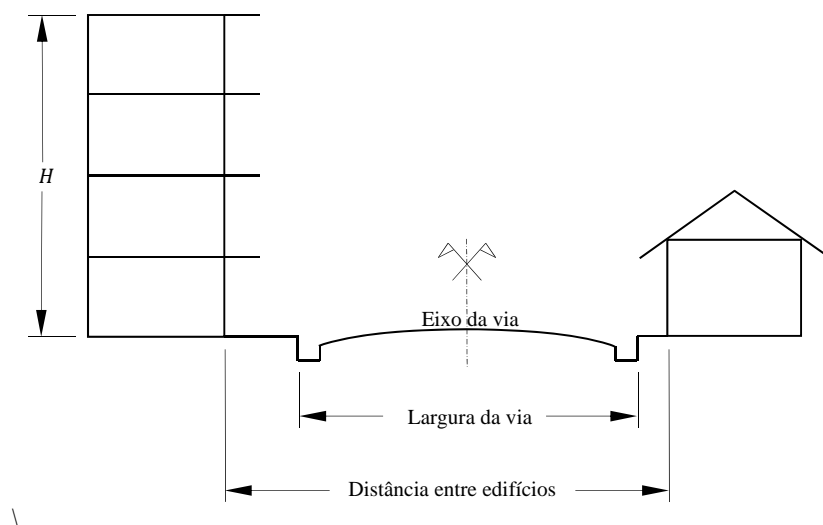


Figura 3.10: Distância entre edifícios opostos ao longo do comprimento da via (Tung, 2004)

3.3.2.5 Ocupação lateral

A avaliação final da ocupação da via tenta quantificar a probabilidade dos detritos ocuparem a largura da via. Este cálculo tem por base o tipo de edifício e a distância relativa entre a via e os edifícios. Esta distância é medida na perpendicular ao eixo da via e este tipo de ocupação é chamada **ocupação lateral**.

A largura final da pilha de detritos é uma função de M , C e W_D e é calculada de acordo com a seguinte relação:

Equação 3.6: W_{FD} – Largura final da pilha de detritos

$$W_{FD} = W_D \cdot M \cdot C$$

W_{FD} : Largura final da pilha de detritos

W_D : Largura da pilha de detritos

M : Factor de material

C : Factor de consola

A relação entre a largura final da pilha de detritos W_{FD} num lado da via e a largura usável da mesma D_B é usada para avaliar a ocupação lateral D_{OCC} e é calculada da seguinte maneira:

Equação 3.7: D_{OCC} – Relação entre a largura final da pilha de detritos e a largura usável da via

$$D_{OCC} = \frac{W_{FD}}{D_B}$$

D_{OCC} : Relação entre a largura da largura final da pilha de detritos e a largura usável da via

W_{FD} : Dimensão final da pilha de detritos

D_B : Largura usável da via

A classificação usada para determinar a severidade da ocupação lateral da via por detritos é a seguinte:

- $D_{OCC} < 0,20$ **Baixa ocupação lateral;**
- $0,20 < D_{OCC} < 0,50$ **Moderada ocupação lateral;**
- $D_{OCC} \geq 0,50$ **Elevada ocupação lateral;**

D_{OCC} é calculado para os dois lados da via com base na tabela Tabela 3.2

Tabela 3.2: Ocupação lateral da via por detritos (Tung, 2004)

Severidade da ocupação lateral		Ocupação lateral lado Esquerdo		
		Baixo	Moderado	Elevado
Ocupação lateral lado Direito	Baixo	Baixo	Baixo	Moderado
	Moderado	Baixo	Moderado	Elevado
	Elevado	Moderado	Elevado	Elevado

Este método pode ser sistematizado no esquema apresentado na Figura 3.11 onde está estruturado o método de cálculo da ocupação lateral e longitudinal das vias por escombros.

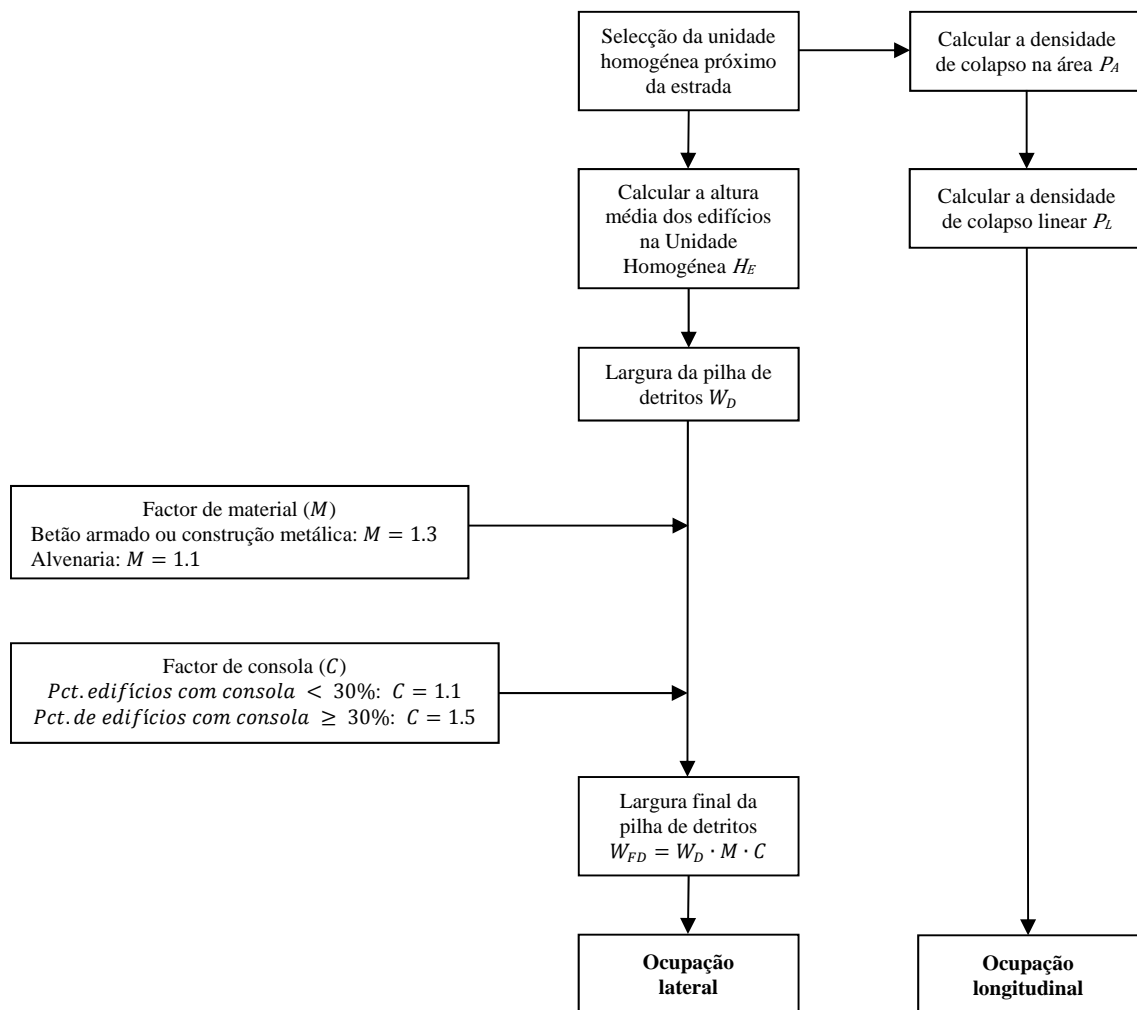


Figura 3.11: Metodologia usada para calcular o nível de ocupação da via (Tung, 2004)

3.3.3 Ocupação total

Este valor obtém-se da conjugação da ocupação lateral com a ocupação longitudinal, através da matriz apresentada na Tabela 3.3 e dá-nos uma imagem bastante completa do grau de obstrução total que podemos esperar de determinada via, face ao colapso total ou parcial de edifícios.

Tabela 3.3: Severidade da ocupação total das vias

Severidade da ocupação total das vias		Severidade da ocupação longitudinal		
		Baixo	Moderado	Elevado
Severidade da ocupação lateral	Baixo	Baixo	Baixo	Moderado
	Moderado	Baixo	Moderado	Elevado
	Elevado	Moderado	Elevado	Elevado

Tal como já referido utilizam-se cenários de 5, 10 e 15% de colapsos de edifícios existentes nas unidades homogéneas e do cruzamento obtido entre os colapsos longitudinal e lateral, com recurso à matriz acima referida, obtém-se a severidade da ocupação total das vias em análise.

4 Resultados

Foram considerados 3 cenários distintos, distinguindo-se eles pela percentagem de colapso de edifícios.

No primeiro cenário considerou-se que 5% dos edifícios colapsariam e no segundo e terceiro, 10 e 15%, respectivamente.

Estes valores estão de acordo com as estimativas previstas pelo simulador do LNEC, no caso da ocorrência de um sismo de magnitude e epicentro semelhante ao de 1755 (Figura 3.2).

Para proceder a este estudo utilizaram-se os valores máximos esperados de colapso apresentados pelo simulador do LNEC.

4.1 Ocupação lateral

Uma vez que segundo este método a ocupação lateral das vias é independente da percentagem de edificado colapsado, pois depende directamente da relação entre a altura dos edifícios e a largura da via (ver 3.3.2.4), esta ocupação será sempre igual, qualquer que seja a percentagem de edificado colapsado.

O significado físico deste ocupação é traduzido na percentagem da largura de via que se encontrará obstruída por escombros.

Como se pode observar na Figura 4.1 a ocupação lateral ao longo das vias é quase sempre elevado (mais de 50% da largura da via ocupado por escombros), com algumas excepções, a Rua da Bempostinha, Largo da Escola Municipal e Largo do paço da Rainha que apresentam uma ocupação lateral baixa (até 20% da largura da via estará ocupada por escombros), muito devido à baixa altura média dos edifícios nas unidades homogéneas circundantes a estas vias, mas também devido à largura maior das mesmas (Largo do Paço da Rainha, que apresenta uma largura média de 29,5m e Largo da Escola Municipal, com uma largura média de 38,0m).

A Rua da Estefânia, Rua José Estevão, Rua da Angra do Heroísmo, Rua Jacinta Marto, Rua da Escola do Exército, Rua Gomes Freire, Alameda de Sto. António dos Capuchos (até ao cruzamento com a Rua Dr. Almeida Amaral), Rua Júlio de Andrade, Rua do Instituto Bacteriológico (troço compreendido desde o Campo Mártires da Pátria à Travessa do Torel), Rua Manuel Bento de Sousa, Rua do Saco, Rua Capitão Renato Baptista, Rua Nova do Desterro, Rua do Desterro, Rua de São Lazaro e Travessa do

Hospital, apresentam uma ocupação longitudinal moderada (entre 20% e 50% da largura da via ocupados por escombros).

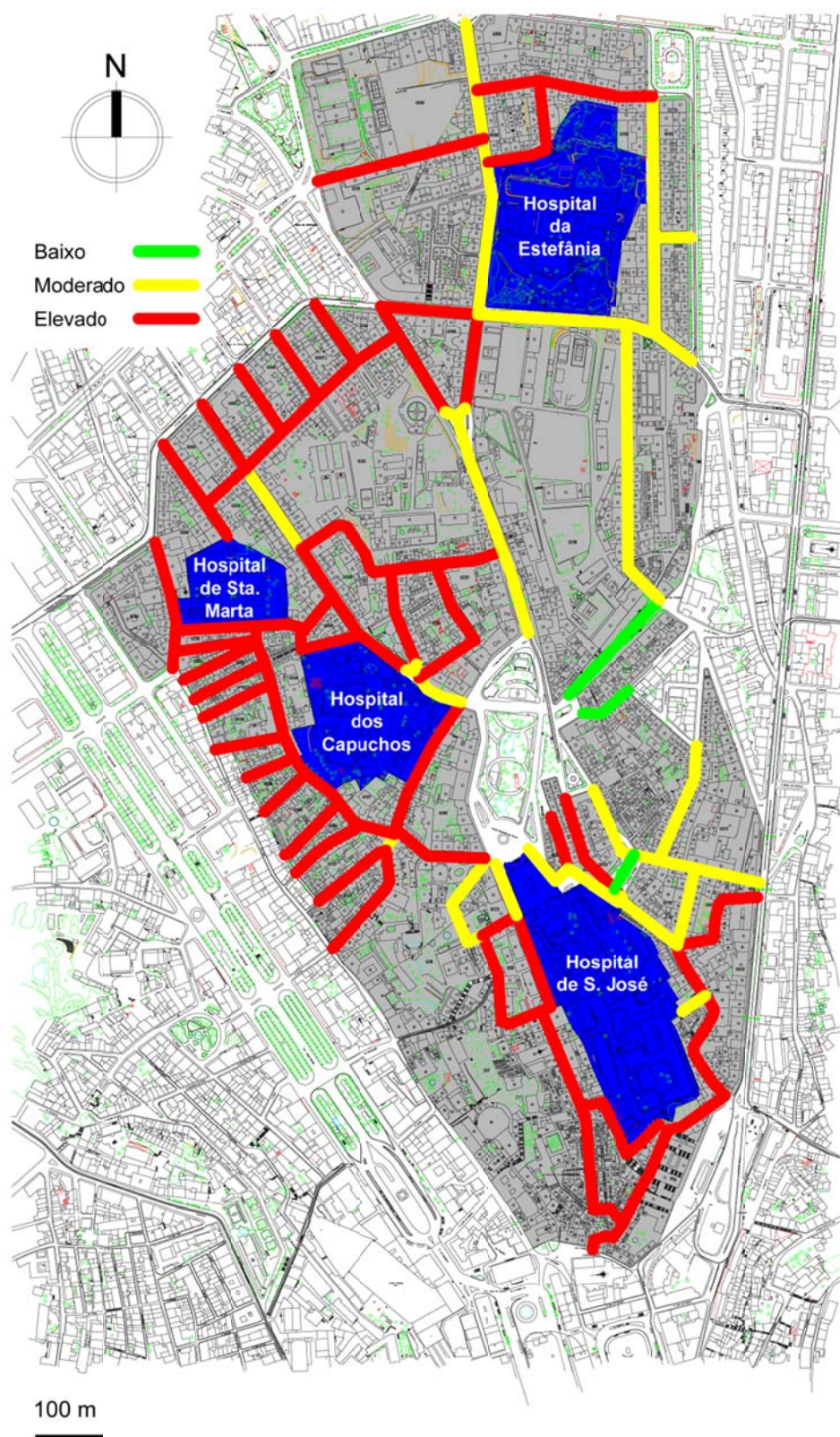


Figura 4.1: Ocupação lateral ao longo das vias

Sabendo que a rede viária da zona de estudo tem cerca de 11.568 metros, apresentam-se os comprimentos de via por tipo de ocupação e por percentagem de ocupação obtidos no presente trabalho.

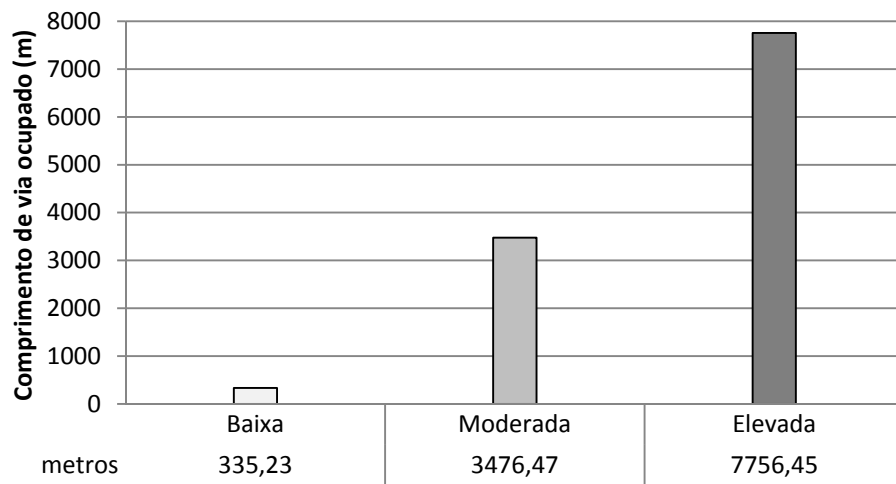


Figura 4.2: Ocupação lateral por comprimento de via

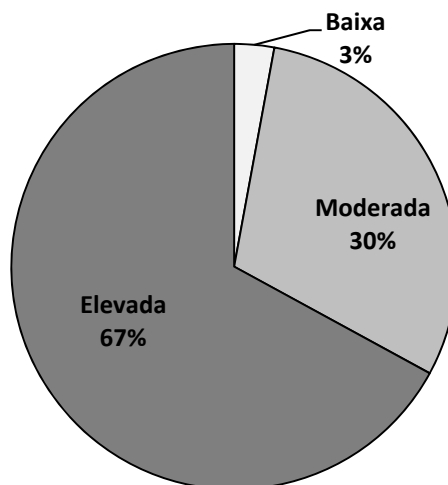


Figura 4.3: Ocupação lateral por percentagem de comprimento de via

4.2 Ocupação Longitudinal

A ocupação longitudinal depende da quantidade de edifícios que colapsam. Esta ocupação traduz-se no comprimento esperado de via que se encontrará obstruído.

Quando conjugado com a ocupação lateral, temos uma imagem bastante completa do grau de obstrução total que podemos esperar de determinada via.

4.2.1 Cenário 1 - 5% de colapso de edifícios.

Neste cenário verifica-se facilmente através da consulta da Figura 4.8 que praticamente todas as vias apresentam menos de 30% de ocupação por detritos, o que segundo as matrizes desenvolvidas por (Tung, 2004) (Tabela 3.1), indicam baixa ocupação longitudinal.

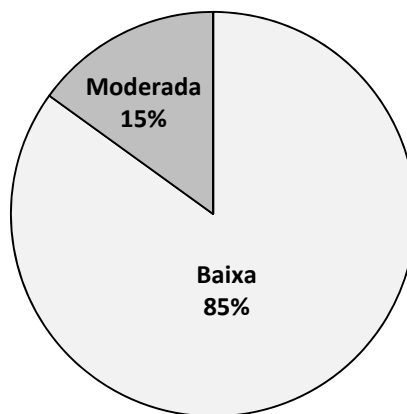


Figura 4.4: Ocupação longitudinal por percentagem de comprimento de via (5% de colapso de edifícios)

4.2.2 Cenário 2 – 10% de colapso de edifícios

Para este cenário, como seria de esperar, a ocupação das vias aumenta, apresentando já a maioria das vias (70%) ocupações moderadas. Todos os hospitais da área em estudo vêm as suas acessibilidades condicionadas (Figura 4.9).

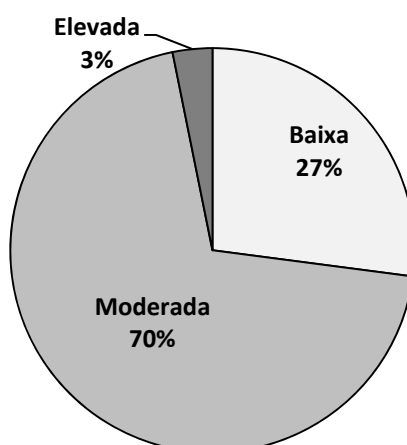


Figura 4.5: Ocupação longitudinal por percentagem de comprimento de via (10% de colapso de edifícios)

4.2.3 Cenário 3 - 15% de colapso de edifícios

Com 15% de colapso de edifícios (Figura 4.10) todas as vias apresentam ocupações moderadas, existindo algumas já com ocupações severas, junto aos hospitais de S.José e da Estefânia.

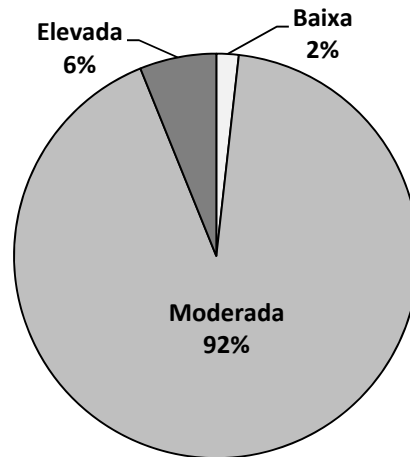


Figura 4.6: Ocupação longitudinal por percentagem de comprimento de via (15% de colapso de edifícios)

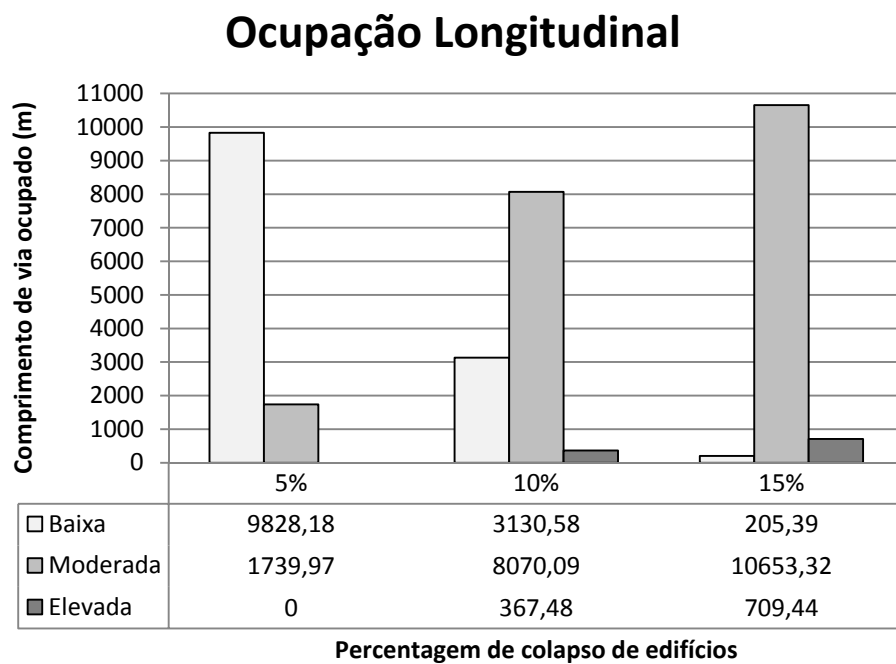


Figura 4.7: Gráfico resumo da ocupação longitudinal por comprimento de via, para os três cenários considerados

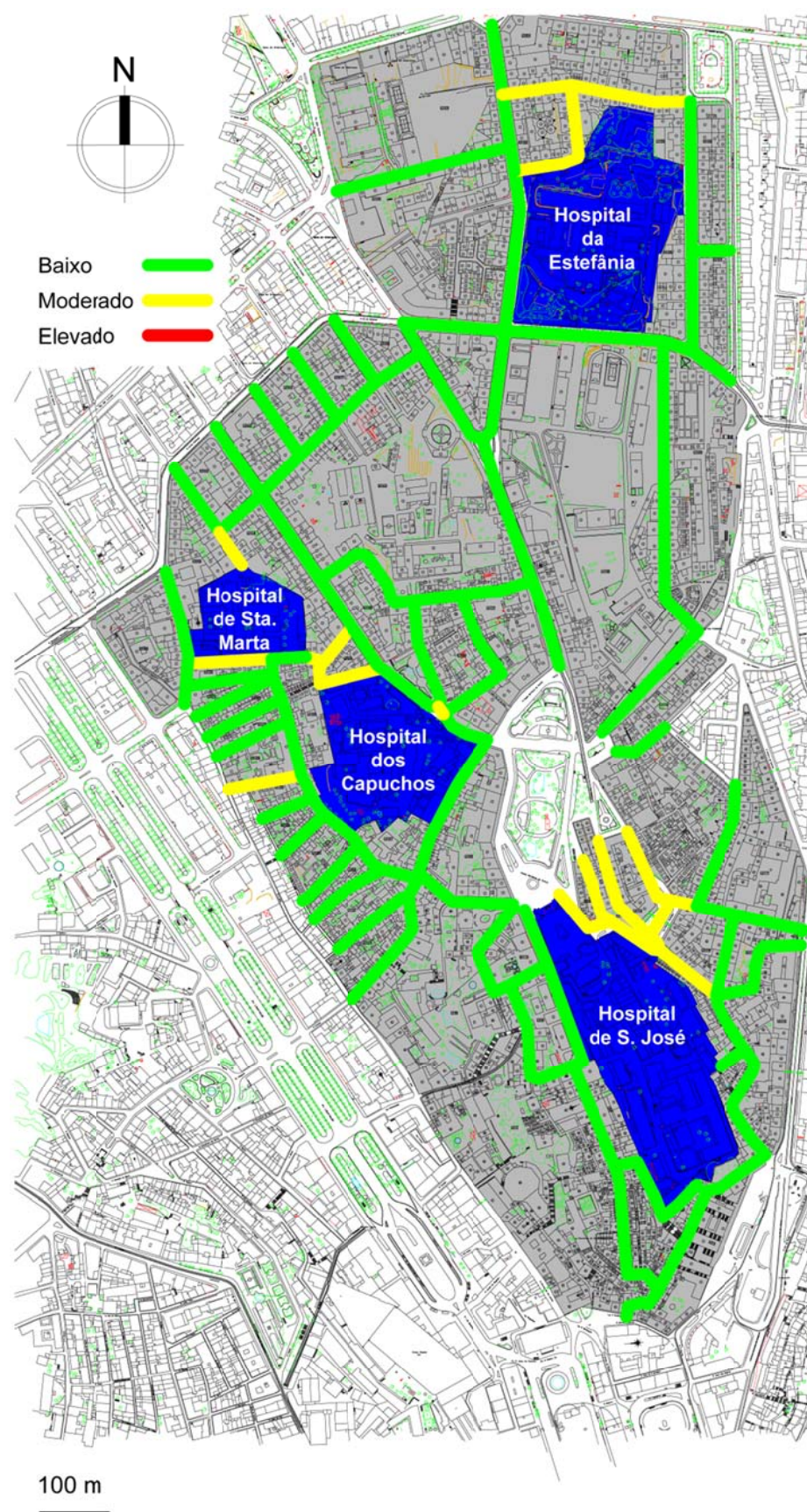


Figura 4.8: Ocupação longitudinal das vias (colapso de 5% dos edifícios)

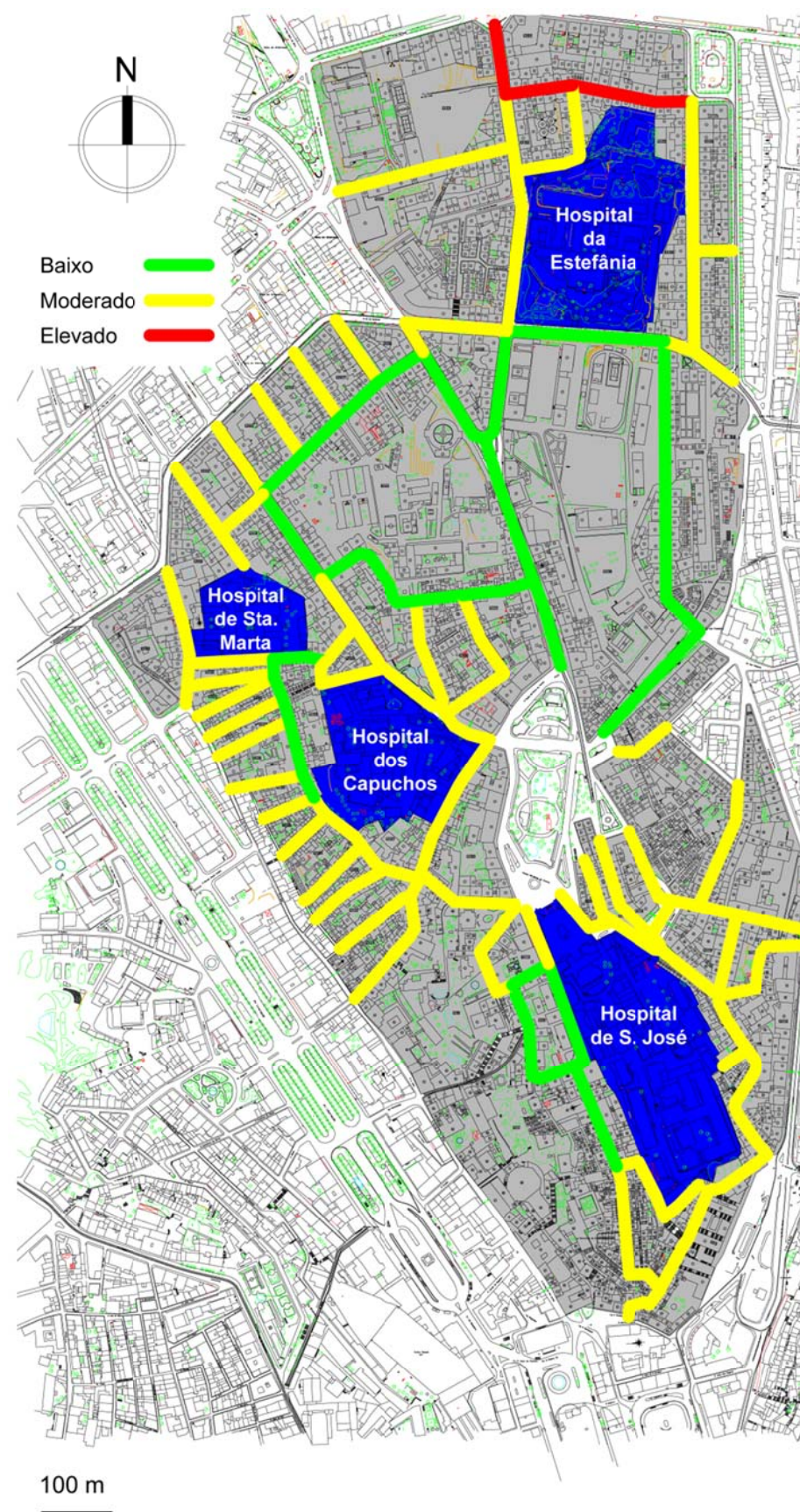


Figura 4.9: Ocupação longitudinal das vias (colapso de 10% dos edifícios)

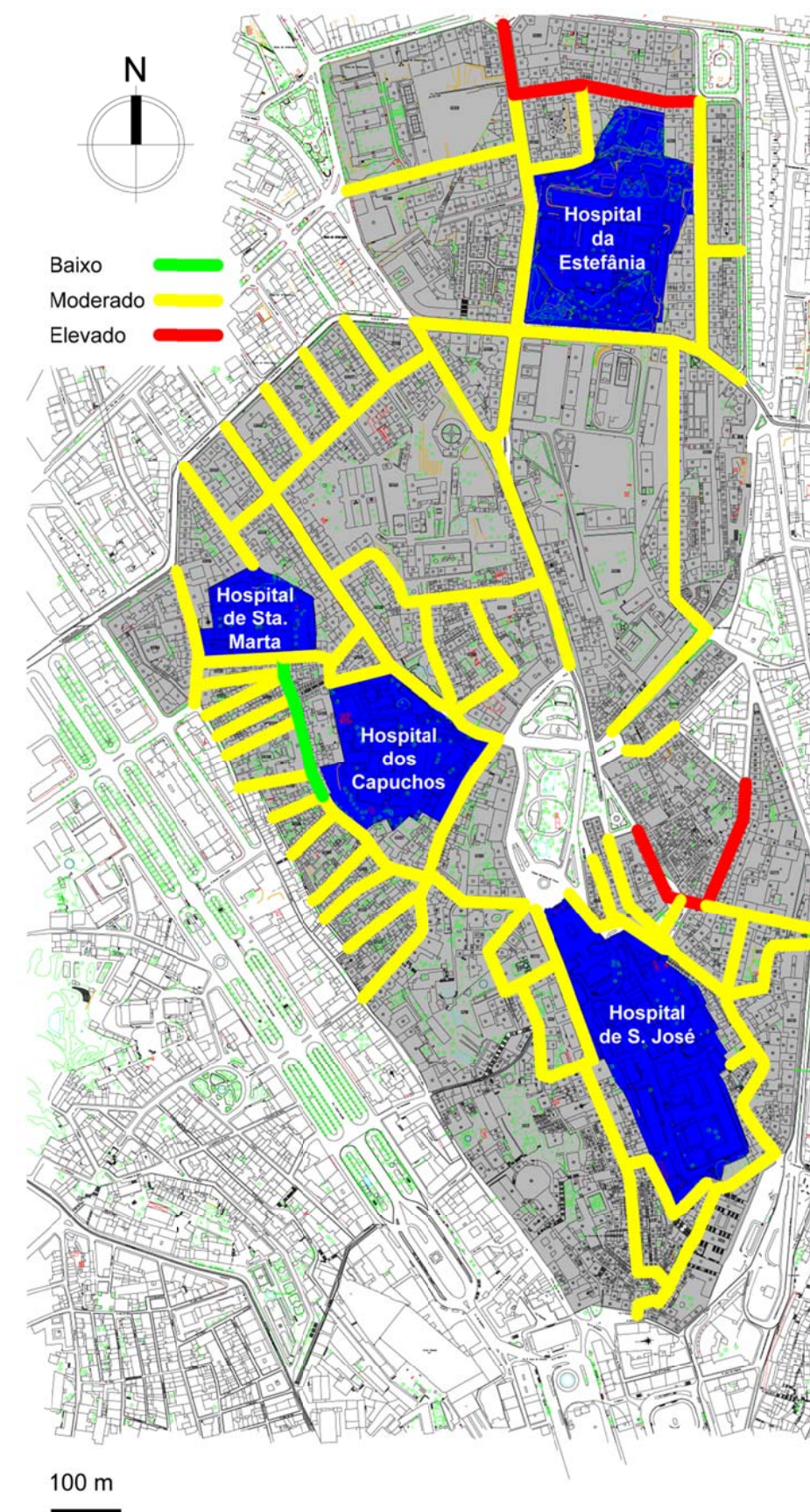


Figura 4.10: Ocupação longitudinal das vias (colapso de 15% dos edifícios)

4.3 Severidade da ocupação das vias

Este valor obtém-se da conjugação da ocupação lateral com a ocupação longitudinal e dá-nos uma imagem bastante completa do grau de obstrução total que podemos esperar de determinada via.

Através da matriz apresentada na Tabela 3.3 obtêm-se os mapas apresentados nas figuras 4.6 a 4.9

4.3.1 Cenário 1 - 5% de colapso de edifícios.

Quando combinarmos os resultados da ocupação lateral (Figura 4.1) com os da ocupação longitudinal (Figura 4.8), aplicando a matriz representada na Tabela 3.3, verifica-se que o cenário se torna mais gravoso e condicionante (Figura 4.15), existindo já muitas vias com ocupação moderada e algumas com ocupação elevada.

Relativamente às acessibilidades aos hospitais na zona em estudo, verifica-se que o Hospital de Sta. Marta e o Hospital dos Capuchos já têm os seus acessos bastante condicionados apresentando ocupações moderadas (Hospital dos Capuchos) a elevadas (Hospital de Sta. Marta).

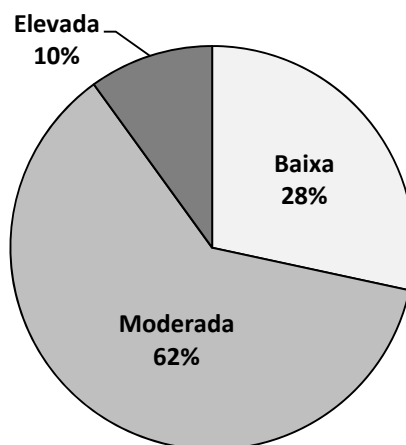


Figura 4.11: Ocupação total por percentagem de comprimento de via (5% de colapso de edifícios)

4.3.2 Cenário 2 – 10% de colapso de edifícios

Neste cenário, como seria de esperar, a ocupação das vias aumenta, apresentando a maioria das vias ocupações elevadas (Figura 4.16).

À semelhança do cenário anterior, os Hospitais de Sta. Marta e Capuchos vêm as suas acessibilidades ainda mais condicionadas mas agora também o hospital de S. José cujo

único ponto de acesso é a entrada através do Campo Mártires da Pátria (passando através da faculdade de medicina). O hospital da Estefânia, também já apresenta dificuldades nas suas acessibilidades, tendo as suas acessibilidades agora um grau de ocupação moderado.

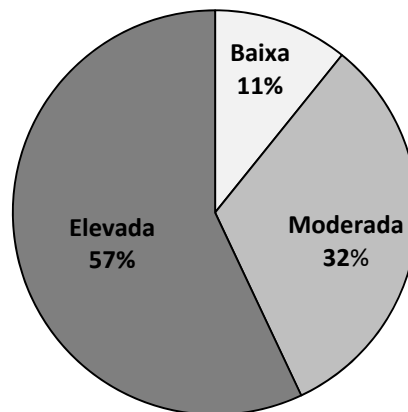


Figura 4.12: Ocupação total por percentagem de comprimento de via (10% de colapso de edifícios)

4.3.3 Cenário 3 - 15% de colapso de edifícios

Neste cenário (Figura 4.7), as acessibilidades tornam-se mais difíceis a qualquer dos hospitais da zona em estudo, à semelhança do cenário anterior. Os Hospitais de Sta. Marta e Capuchos têm os seus acessos com níveis de ocupação elevados e todos os acessos circundantes ao Hospital de S. José apresentam também níveis de ocupação elevado, sendo a exceção a entrada pelo Campo Mártires da Pátria. De notar que os acessos ao Campo Mártires da Pátria apresentam níveis de ocupação apreciáveis, sendo que o trajecto mais indicado seria, vindo de Norte, e tomando como ponto de partida o Jardim Constantino, seguindo pela Rua José Estevão, Rua Escola do Exército, Rua do Paço da Rainha, vindo desembocar no Campo Mártires da Pátria.

O Campo Mártires da Pátria toma assim um papel primordial na manutenção das acessibilidades aos hospitais de S. José, Capuchos e também Sta. Marta (através do Hospital dos Capuchos).

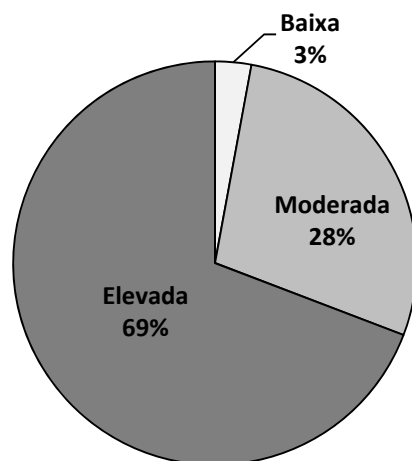


Figura 4.13: Ocupação total por percentagem de comprimento de via (15% de colapso de edifícios)

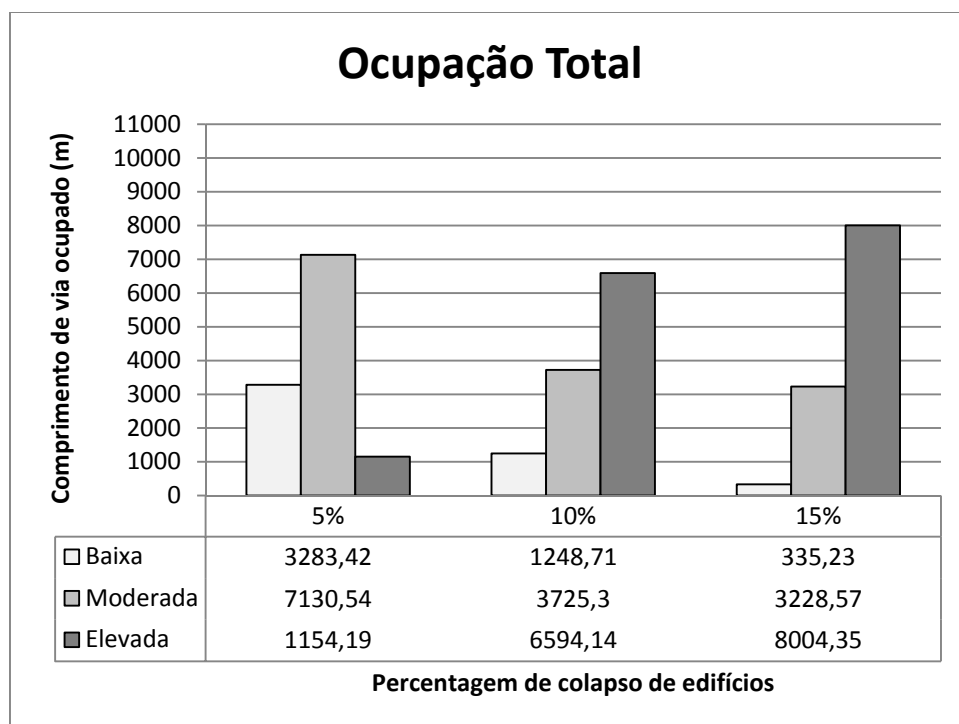


Figura 4.14: Gráfico resumo da ocupação total por comprimento de via para os três cenários considerados

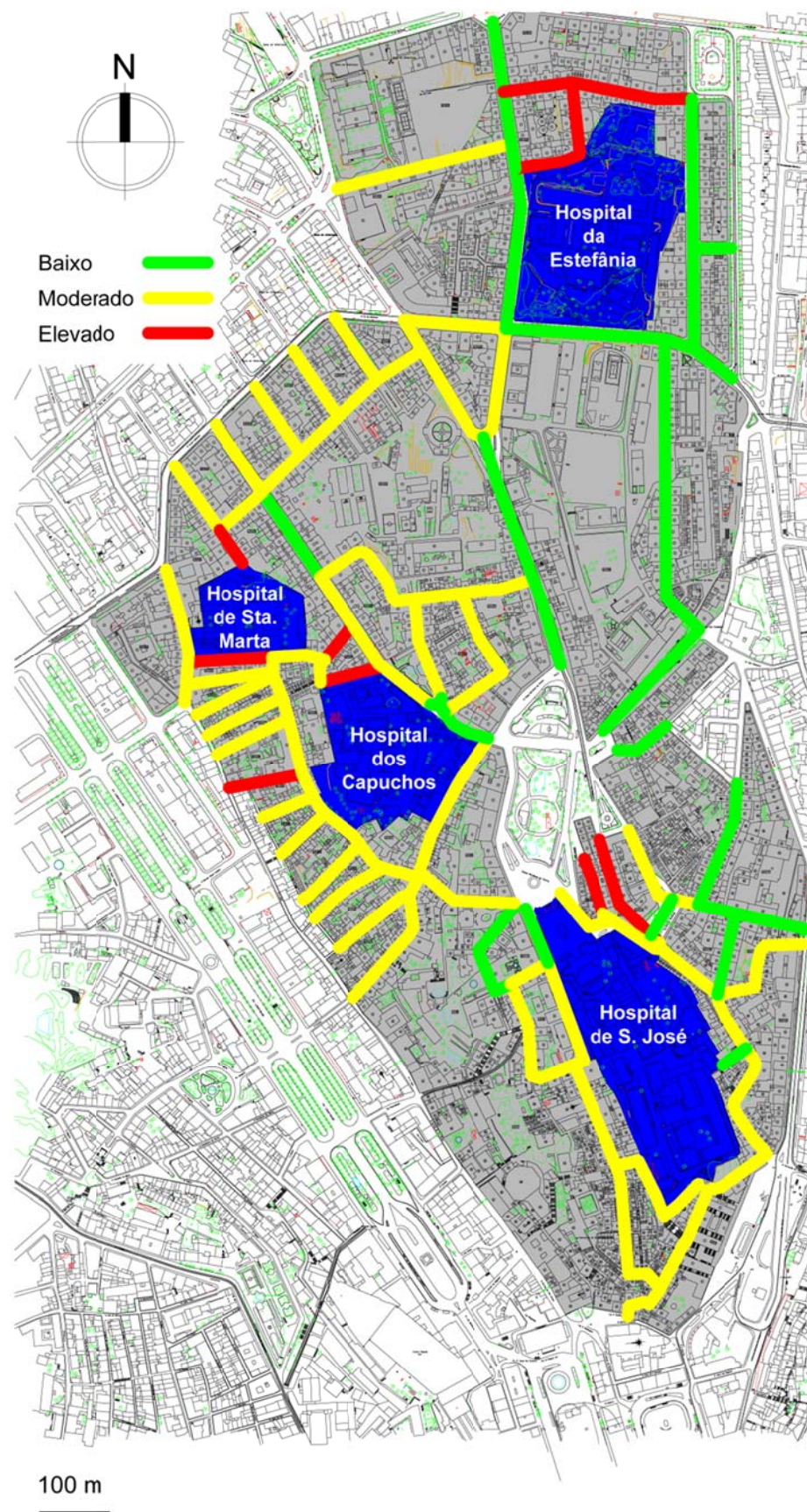


Figura 4.15: Severidade da ocupação das vias (colapso de 5% dos edifícios)

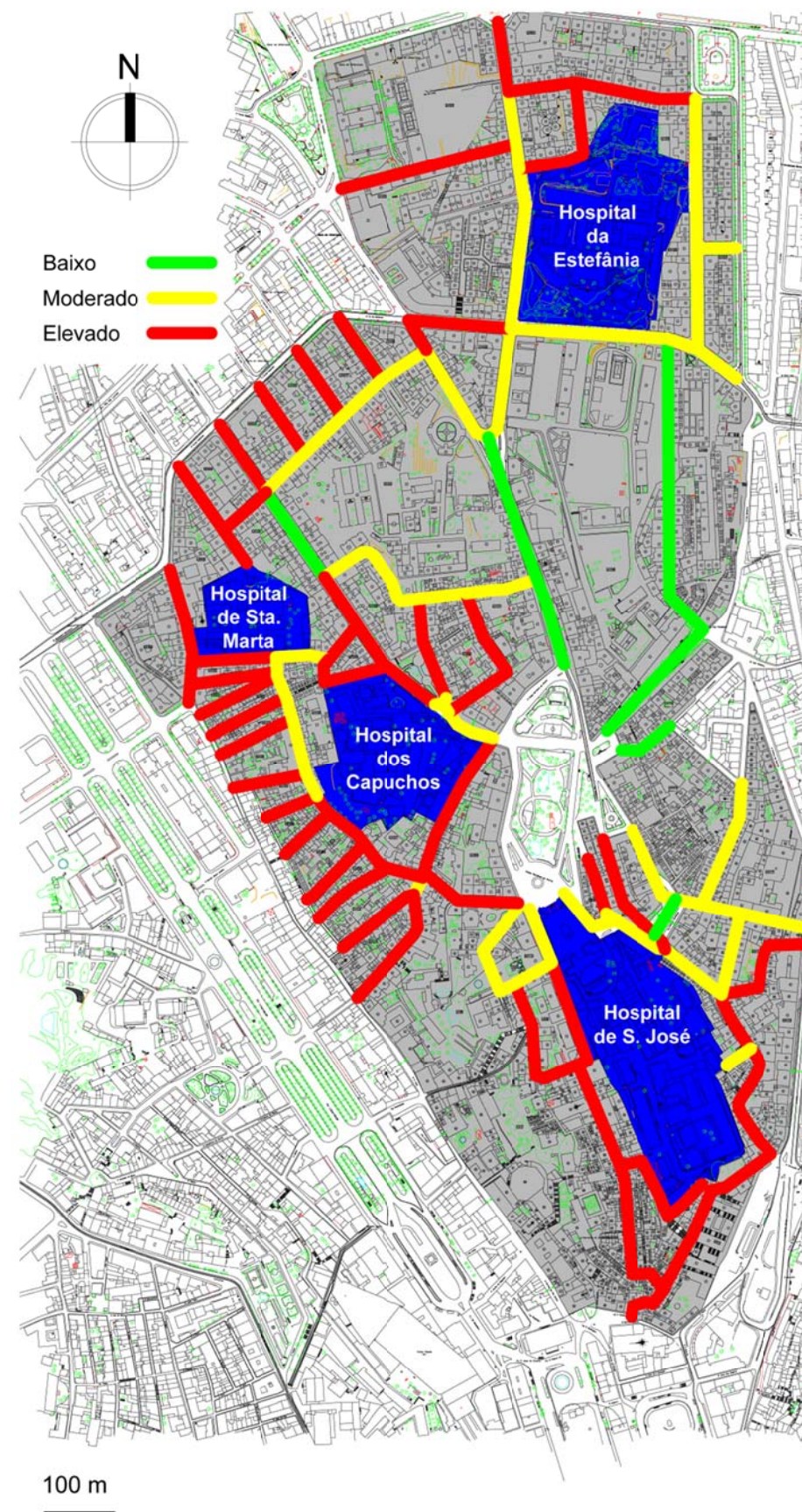


Figura 4.16: Severidade da ocupação das vias (colapso de 10% dos edifícios)

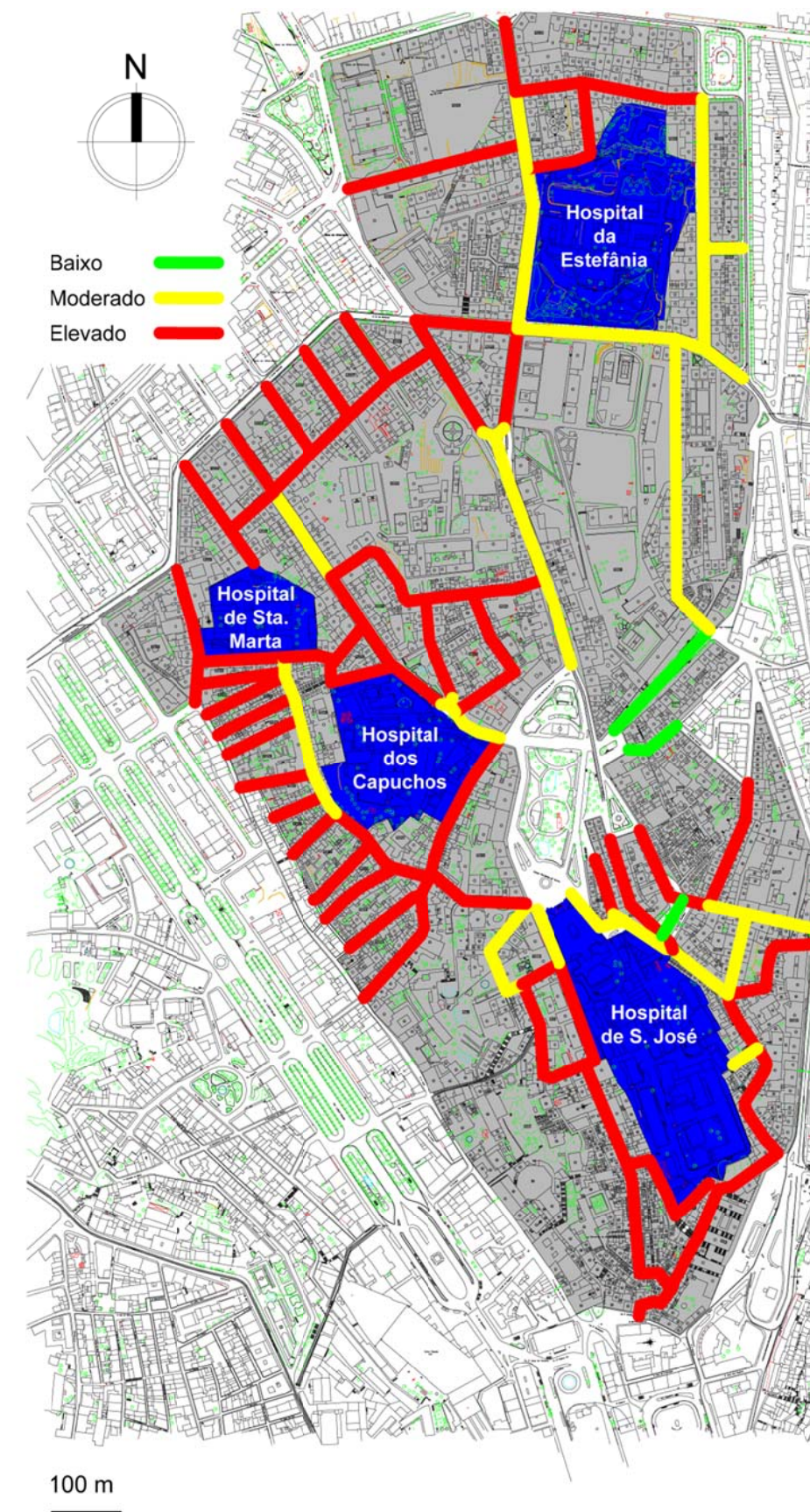


Figura 4.17: Severidade da ocupação das vias (colapso de 15% dos edifícios)

4.4 Discussão de resultados

Seja qual for o cenário considerado torna-se evidente a necessidade de se implementarem medidas de mitigação de modo a garantir a funcionalidade das vias de acesso aos hospitais, de forma a não comprometer as suas funcionalidades.

Deste estudo podem-se retirar várias conclusões que serão importantes para o planeamento da resposta a emergência e para a implementação de medidas mitigadoras das vulnerabilidades detectadas.

1. As valências que os hospitais de São José, Santa Marta e Capuchos, disponibilizam em situação normal poderão ficar comprometidas em caso de catástrofe. Os acessos para o escoamento de feridos que necessitarão de cuidados de saúde poderão ficar significativamente reduzidos. Assim, estes hospitais não deverão ser incluídos como unidades de apoio nos planos de emergência, a não ser que sejam implementadas medidas mitigadoras.
2. Os investimentos futuros nestas unidades hospitalares devem ter em conta os resultados aqui apresentados, no sentido de se equacionarem medidas de mitigação nas suas áreas envolventes.
3. Os resultados desta tese permitem uma análise de vulnerabilidades que deve ser utilizada nos estudos que se destinam a definir as opções de reforço dos edifícios localizados nesta área.
4. O Hospital de S. José e o Hospital dos Capuchos dependem fortemente dos acessos ao Campo Mártires da Pátria pois nos cenários de maior severidade este é o único local que permite entradas e saídas dos mesmos.
5. O melhor acesso ao Campo Mártires da Pátria, é o que vem de Norte, e toma como ponto de partida o Jardim Constantino, seguindo pela Rua José Estevão, Rua Escola do Exército, Rua do Paço da Rainha. As outras hipóteses de acesso apresentam níveis de ocupação elevados.
6. O Hospital da Estefânia, mesmo no cenário mais gravoso, mantém as suas acessibilidades relativamente desimpedidas, com um nível de ocupação moderado.
7. O Hospital de Sta. Marta é o que fica com as suas acessibilidades mais condicionadas, pois em qualquer um dos 3 cenários considerados, as suas acessibilidades têm sempre níveis de ocupação elevados.

8. A maneira mais rápida e provavelmente a mais económica de assegurar as acessibilidades ao Hospital de Sta. Marta após um sismo será através do Hospital dos Capuchos. Para tal será necessário desobstruir, na fase de emergência, parte da Calçada de Santo António e parte da Travessa de Sta. Marta (Figura 4.18). Esta condição deverá ser vertida nos planos de emergência das entidades responsáveis pela protecção civil.
9. Para que em caso de evento sísmico se possa ter uma maior resiliência e conseguir assim que todos os hospitais mantenham as suas acessibilidades desimpedidas será importante que se tomem algumas medidas, como por exemplo:
 - O trajecto Jardim Constantino, Rua José Estevão, Rua Escola do Exército, Rua do Paço da Rainha, Campo Mártires da Pátria, deve ser tomado como prioritário nas medidas a serem implementadas e garantir que não fique bloqueado (Figura 4.18).
 - Garantir o reforço sísmico dos edifícios que ladeiam estas vias. Esta será uma medida a médio/longo prazo, pois é morosa e dispendiosa.
10. Tendo em conta que o reforço sísmico de estruturas poderá ser, nesta fase que o país atravessa, de difícil execução, pode-se optar por uma medida mais imediata. Esta consiste na utilização de equipamentos necessários e suficientes para a remoção de escombros e detritos, que certamente poderiam contribuir para desbloquear o trajecto referenciado, de modo a estarem imediatamente disponíveis após o sismo. Esta hipótese deverá ter em conta o volume de escombros produzido e o tempo necessário para a sua remoção.

4.4.1 Volume de escombros

Torna-se de todo o interesse fornecer uma estimativa do volume de escombros que se poderá acumular nos trajectos referidos nos pontos 8 e 9 da discussão dos resultados. Esta estimativa de volume de escombros pode ser obtido através da utilização de um coeficiente que relacione o volume dos edifícios colapsados com o volume de escombros produzidos.

Na literatura especializada encontraram-se dois exemplos de cálculo de volumes de escombros produzidos por colapso de edifícios, (Lassandro, 2003, p. 5) e (Federal Emergency Management Agency, 2010, p. 9). Estes autores apresentam coeficientes substancialmente diferentes, 18% do volume inicial dos edifícios para (Lassandro,

2003) e 33% para a FEMA (Federal Emergency Management Agency, 2010). Optou-se por utilizar o coeficiente indicado pela (Federal Emergency Management Agency, 2010).

Apesar do coeficiente encontrado por (Lassandro, 2003) ser experimental, o que validaria melhor os resultados, verifica-se que foram usados nas experiências efectuadas edifícios de betão armado inacabados, isto é, só em estrutura. O volume de escombros produzidos por paredes, telhas, janelas e todos os outros materiais constituintes de um edifício não foram contabilizados, pelo que os valores poderão ser inferiores aos produzidos numa situação real.

Em contrapartida, o coeficiente indicado pela (Federal Emergency Management Agency, 2010), apesar de impírico, foi baseado na longa experiência e observações em campo, e é o indicado para ser usado em edifícios dentro de cidades, pelo que se optou por utilizá-lo no presente trabalho.

Tabela 4.1: Volume esperado de escombros no trajecto Jardim Constantino – Campo Mártires da Pátria

UH – Unidade Homogénea (Figura 1.8)

Nome da Rua	Volume dos edifícios colapsados por Unidade Homogénea (m ³)		Volume de escombros (m ³)
Rua José Estevão	UH53	8.838	2.917
	UH55	12.595	4.156
	UH56	10.378	3.425
	UH57	10.178	3.359
Rua Jacinta Marto	UH57	10.178	3.359
	UH39	22.622	7.465
Rua da Escola do Exército	UH39	22.622	7.465
	UH38	40.530	13.375
Largo do Paço da Rainha	UH19	9.593	3.166
	UH38	40.530	13.375
			62.062

Tabela 4.2: Volume esperado de escombros no trajecto Campo Mártires da Pátria – Hospital dos Capuchos

UH – Unidade Homogénea (Figura 1.8)

Nome da Rua	Volume dos edifícios colapsados por Unidade Homogénea (m ³)		Volume de escombros (m ³)
Al. Sto. António dos Capuchos	UH37	11.569	3.818
			3.818

Tabela 4.3: Volume esperado de escombros no trajecto Hospital dos Capuchos – Hospital de Sta. Marta

UH – unidades Homogéneas (Figura 1.8)

Nome da Rua	Volume dos edifícios colapsados por Unidade Homogénea (m ³)		Volume de escombros (m ³)
Cc. De Sto. António	UH33	1.681	555
	UH34	4.646	1.533
Tv. de Sta. Marta	UH33	1.681	555
	UH41	16.773	5.535
			8.178

Verifica-se assim que será necessário prever a disponibilidade de equipamento que com celeridade consiga remover cerca de 74.058 m³ de escombros, para assim se poder garantir vias de acesso desimpedidas aos hospitais da zona em estudo.

Para cada um dos percursos acima referidos apresenta-se na tabela 4.4 o número de camiões necessários para remover os respectivos volumes de escombros, para camiões com capacidades de 12 m³, 16 m³ e 23 m³.

Tabela 4.4: Número de camiões ou viagens necessárias para remover o Volume esperado de escombros nos trajectos acima referidos

Volume esperado de escombros (m ³)	Capacidade dos camiões (m ³)		
	12	16	23
62.061	5.172	3.879	2.698
3.818	318	239	166
8.178	681	511	356
	6.171	4.629	3.220

Assim, para o trajecto Campo Mártires da Pátria – Hospital dos Capuchos, onde se estima que serão produzidos 3.818 m³ de entulho, serão necessários 166 camiões de 23 m³ cada um, para se retirar todo o volume de escombros.

Para o trajecto Jardim Constantino – Campo Mártires da Pátria, onde se estima a produção de 62.061 m³, serão necessários 2.698 camiões para se remover a totalidade dos escombros.

Para remover todo o entulho produzido nestes trajetos, serão necessários 3.220 camiões de 23 m³ cada um. Recorda-se que no computo geral serão estes os trajetos que poderão ser mais facilmente utilizados.

Estas estimativas evidenciam que a aplicação das medidas de mitigação já referidas ao longo destas conclusões serão a forma mais eficiente de tornar os hospitais de São José, Sta. Marta, Capuchos e Estefânia mais resilientes ao risco sísmico.

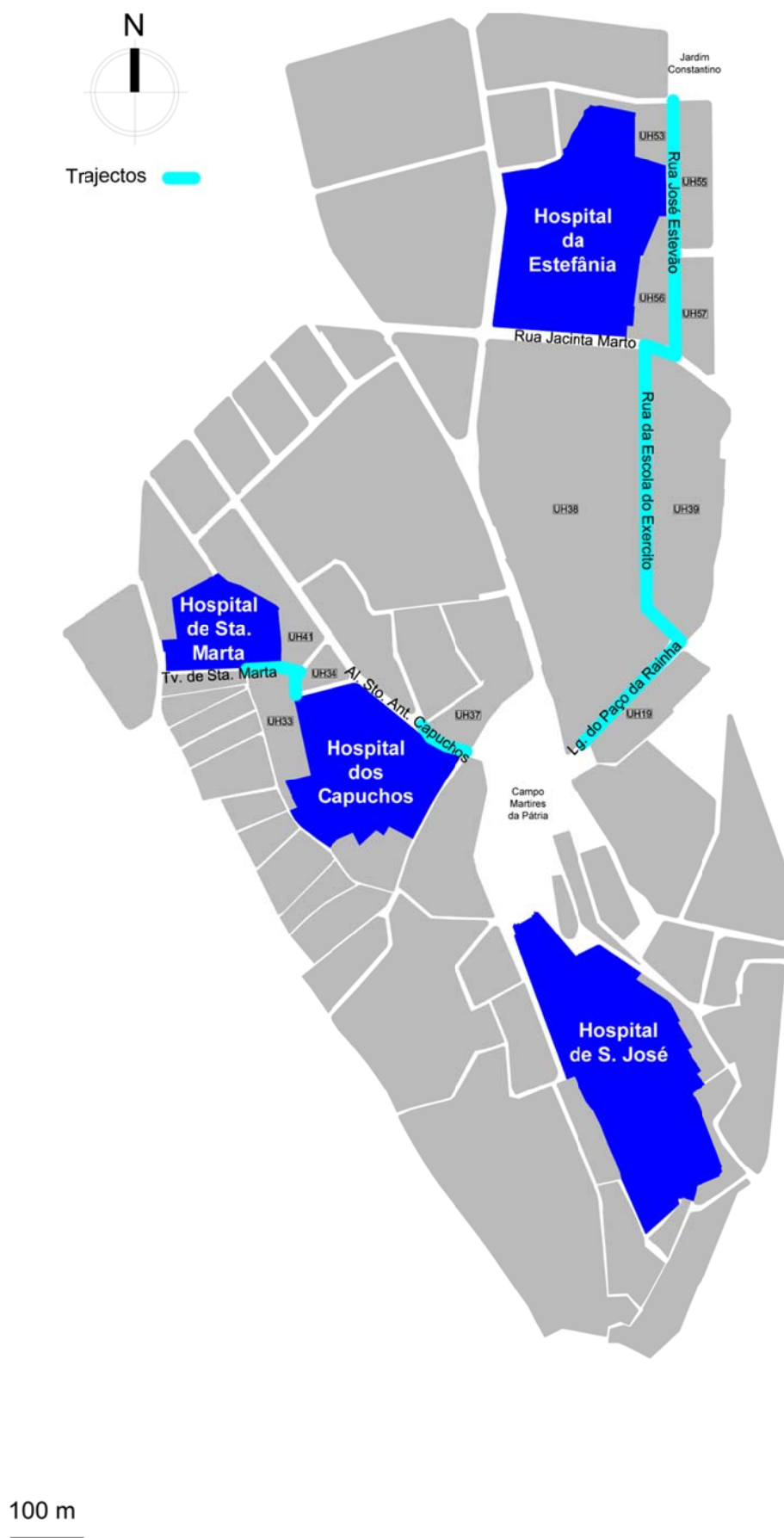


Figura 4.18: Trajectos mais indicados de acesso aos hospitais em evento de sismo

5 Considerações finais

5.1 Limitações do estudo

Apesar de todo o trabalho e tempo investidos neste estudo, existem vários aspectos importantes que devem ser referenciados.

Neste tipo de estudos existe todo o interesse na utilização de programas informáticos de Informação Geográfica. Estes programas facilitam em muito a elaboração de mapas, tornam todo o processo mais célere e permitem uma muito maior facilidade na apresentação de resultados.

Não obstante, este sistema não foi utilizado devido à impossibilidade de se obterem dados que servissem de base para a análise, nomeadamente mapas da zona em estudo em formatos compatíveis, dados de volumetria, áreas ocupadas por edifícios, vias de comunicação, zonas verdes, altimetria, etc.

A metodologia utilizada (RADIUS) é perfeitamente válida, reconhecida, utilizada e mesmo avalizada pela UNISDR, mas dada a existência de meios técnicos, dados históricos e estudos já realizados sobre a temática deve-se utilizar para este tipo de estudos a metodologia HAZUS, que aliás já foi utilizada em diversas investigações na área de impactos de sismos em Portugal, nomeadamente na construção do simulador de cenários sísmicos LNECloss já referenciado.

Esta metodologia em associação com o uso de programas de informação geográfica tem como resultado estudos de grandes áreas geográficas em prazos de tempo relativamente curtos.

Dados os constrangimentos referenciados acima, optou-se por estudar apenas uma parcela da zona metropolitana de Lisboa, que vem sendo referenciada na literatura, em caso de sismo como das mais afectadas, mas também pelo carácter inovador da temática: Analisar as acessibilidades aos hospitais no evento de um sismo de características destruidoras.

Com este estudo ficámos com uma boa perspectiva do que esperar acerca da ocupação das vias no evento de um sismo, no entanto, desconhecemos o que se passará para lá dos limites da zona estudada.

5.2 Perspectivas futuras

Será de todo o interesse dar seguimento a este estudo, utilizando agora outra metodologia mais eficiente, nomeadamente com o recurso a Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Assim como o de abranger a área em estudo, se possível, para toda a área metropolitana de Lisboa e em conjunto criar uma metodologia que se possa adaptar facilmente a outras cidades e ou zonas do país.

6 Conclusões

A temática deste estudo é inovadora. A nível nacional não existe nenhum trabalho acerca deste tema em particular.

É um estudo que é de todo o interesse para cidades que estejam expostas à ocorrência de sismos de características destruidoras, pois como já referido anteriormente é de vital importância que as vias de acesso de e para os hospitais se mantenham desocupadas de detritos, que seguramente surgirão, para que feridos possam ser transportados para hospitais ou, em caso de falência da estrutura sejam evacuados deste para outro local seguro, em caso de um evento sísmico.

Com base nestes pressupostos elaborou-se este estudo que tem como objectivo indicar as ocupações por detritos esperadas nas vias e por consequência indicar quais as rotas mais indicadas a utilizar após um evento sísmico.

Verificou-se portanto que os quatro hospitais na zona em estudo, S. José, Sta. Marta, Capuchos e Estefânia, mesmo no caso de apenas do colapso de 5% do edificado, (Figura 4.15: Severidade da ocupação das vias (colapso de 5% dos edifícios) apresentam já ocupações moderadas em todos os seus acessos, excepção feita ao hospital da Estefânia que ainda apresenta ocupações baixas nalguns dos seus acessos.

Como seria de esperar, com o aumento da percentagem de colapso de edifícios os acessos vão ficando mais condicionados. Existe uma diferença significativa no comprimento de ocupação total de via (ocupação elevada) entre os cenários 5% e 10% (Figura 4.15 e Figura 4.16) aumentando o comprimento de via com ocupação elevada de 1154,19 m para 6594,14 m (Figura 4.14), um aumento de 47%. Entre os cenários de 10% e 15% (Figura 4.16 e Figura 4.17) de colapso, a percentagem de via ocupada (ocupação elevada) continua a aumentar, encontrando-se agora já em 69% de toda a rede (na área em estudo).

Os acessos a todos os hospitais estão condicionados, ressaltando-se o cenário de colapso de 5% de edificado onde o Hospital da Estefânia e de S. José ainda conseguem manter algumas acessibilidades, mas ficando já os Hospitais de Sta. Marta e Capuchos quase isolados, sendo o caso do Hospital de Sta. Marta o mais preocupante.

Nos cenários de 10% e 15% de colapso de edificado todos os hospitais da área em estudo ficam com as suas acessibilidades fortemente condicionadas, (caso mais grave no

cenário de 15% de colapso, aliás como seria de esperar), o Hospital de Sta. Marta fica completamente isolado e o Hospital dos Capuchos apenas com um acesso através da Alameda de Sto. António dos Capuchos, o Hospital de S. José terá como único acesso a entrada da Faculdade de Ciências Médicas virada para o Campo Mártires da Pátria e o Hospital da Estefânia nos 2 cenários mantém o mesmo nível de ocupação nos seus acessos (moderado e elevado).

Com base nestas conclusões indicaram-se as rotas mais passíveis de se encontrarem com baixos níveis de ocupação por escombros (Figura 4.18), a quantidade aproximada (em m^3) de escombros que se irão encontrar nas mesmas e ainda medidas de mitigação (reforço sísmico de estruturas) de modo a que as rotas indicadas se mantenham viáveis.

Os objectivos a que se propôs este estudo foram cumpridos: identificaram-se vulnerabilidades na rede viária de acesso aos hospitais, propuseram-se medidas mitigadoras e indicaram-se as rotas de acesso aos hospitais que terão menores ocupações de escombros em caso de evento sísmico.

Ficou também demonstrado que a zona em estudo ficará com muito mais de metade da sua rede viária com ocupações elevadas (69% no cenário de 15% de colapso do edificado), o que levanta grandes questões acerca de como se processará o socorro às vítimas, de como circularão os veículos que prestarão esse socorro e sobretudo de como se fará a desocupação destas vias, o que carecerá de estudo cuidado dada a complexidade da rede viária. Será ainda necessário contemplar uma localização para o depósito de todos os milhares de m^3 de escombros que serão retirados durante o processo de limpeza.

7 Referências bibliográficas

- Agarwal, P., & Shrikhande, P. (2006). *Earthquake Resistant Design Of Structures*. Delhi, India: PHI Learning Pvt. Ltd.
- Alesch, D. J., Arendt, L. A., & Petak, W. J. (2011). *Natural Hazard Mitigation Policy: Implementation, Organizational Choice, and Contextual Dynamics*. New York: Springer.
- Anderson, M. A. (2006). *Contributos para o planeamento de emergência - Aplicação ao caso do plano especial de emergência para o risco sísmico da área metropolitana de Lisboa*. Porto: Manuscrito não publicado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto .
- Bolton, P. A. (1993). *The Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989 - Public Response*. Washington: United States Government Printing Office.
- Bryant, E. (2005). *Natural Hazards*. New York: Cambridge University Press.
- Câmara Municipal de Lisboa - Departamento de Protecção Civil. (s.d.). *Conhecer Para Prevenir - O Risco Sísmico na Cidade de Lisboa*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa - Departamento de Protecção Civil.
- Câmara Municipal de Lisboa (CML). (01 de Julho de 2012). *Lisboa Interactiva*. Obtido de Câmara Municipal de Lisboa: <http://lxi.cm-lisboa.pt/lxi/>
- Campos Costa, A., Sousa, M. L., Carvalho, A., & Coelho, E. (2010). Evaluation of seismic risk and mitigation strategies for the existing building stock: application of LNECloss to the metropolitan area of Lisbon. *Bulletin of Earthquake Engineering, Volume 8, Issue 1*, 119-134.
- Cardoso, R., Lopes, M., & Bento, R. (2003). Vulnerabilidade Sísmica de Edifícios Antigos de Alvenaria da Cidade de Lisboa. *Vulnerabilidade Sísmica de Edifícios Antigos de Alvenaria da Cidade de Lisboa* (pp. 1-40). Lisboa: Instituto Superior Técnico .
- Carvalho, A., Zonno, G., Franceschina, G., Serra, J. B., & Costa, A. C. (2008). Earthquake shaking scenarios for the metropolitan area of Lisbon. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 347-364.

- Carvalho, C. C., Matias, M. P., & Leitão, N. M. (2010). Do risco à catástrofe: um desafio para a Protecção Civil. *II Congresso Intrenacional e VI Congresso Nacional de Riscos* (pp. 1-15). Coimbra: Reitoria Universidade de Coimbra.
- Coburn, A. W., & Spence, R. J. (2002). *Earthquake Protection, 2nd Edition*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Committee on Earthquake Engineering, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council. (1985). *Liquefaction of soils during earthquakes*. Washington: National Academie Press.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (18 de 10 de 2012). *Hazus*. Obtido em 20 de 10 de 2012, de FEMA - Federal Emergency Management Agency: <http://www.fema.gov/hazus>
- Federal Emergency Management Agency. (2010). *Debris Estimating Field Guide*. Washington: Government Printing Office.
- George, J. P. (2011). *Como sobreviver a um terramoto em Portugal*. Lisboa: Leya, Livros D'hoje.
- Guragain, J. (2004). *GIS for Seismic Building Loss Estimation: A case study from Lalitpur Sub-Metropolitan city area*. Enschede: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC) .
- Guragain, R., Pandey, B. H., Shrestha, S. N., Dhakal, Y., & Kandel, R. C. (2003). *Non-Structural Vulnerability Assessment of Hospitals in Nepal*. Kathmandu: National Society for Earthquake Technology - Nepal (NSET).
- Homeland Security Department, Federal Emergency Management Agency. (2006). *Homebuilders Guide to Earthquake Resistant Design and Construction*. Washington: Government Printing Office.
- Hyndman, D. W., & Hyndman, D. W. (2010). *Natural Hazards and Disasters*. Andover: Cengage Learning.
- Instituto Nacional de Estatística. (2012). *Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P.

- Instituto Superior Técnico (IST). (04 de Junho de 2007). *Secção de Urbanismo, Transportes, Vias e Sistemas*. Obtido de Instituto Superior Técnico: http://www.civil.ist.utl.pt/~joanaca/prucivil_2006_2007/conteudos.htm
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (2002). *The study on earthquake disaster mitigation*. Kathmandu: Nipon Koei, LTD; Oyo Corporation.
- Jenelius, E. (2010). *Large-Scale Road Network Vulnerability Analysis*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). (2010). *NP EN 1985-5 2010, Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 5: Fundações, estruturas de suporte e aspectos geotécnicos*. Caparica: Instituto Português da Qualidade - IPQ.
- Langenheim, V. E. (1995). *Gravoty of the New Madrid Seismic Zone - A Preliminary Study*. Washington: UnitedStates Government Printing Office.
- Lassandro, P. (2003). Deconstruction Case Study in Southern Italy: Economic and Environmental Assessment. *Proceedings of the 11th Rinker International Conference* (pp. 1-10). Rotterdam (Netherlands): Conseil International du Bâtiment - CIB.
- Lopes, M. (2008). *Sismos e Edifícios*. Amadora: Orion.
- Malladi, V. P. (2012). *Earthquake Building Vulnerability and Damage Assessment with reference to Sikkim Earthquake, 2011*. Indian Institute of Remote Sensing, Indian Space Research Organisation, Dehradun: Manuscrito não publicado.
- McDonough, P. W. (2002). *The Nisqually, Washington, Earthquake of February 28, 2001: Lifeline Performance*. Reston, VA: ASCE Publications.
- Microsoft. (5 de Dezembro de 2010). *Bing Maps - Driving Directions, Traffic and Road Conditions*. Obtido de Bing Maps - Driving Directions, Traffic and Road Conditions: <http://www.bing.com/maps/>
- National Institute of Building Sciences (NIBS). (1999). *HAZUS 99 Technical and User's Manual*. Washinton DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).

- Ohta, T., & Omote, S. (1977). An investigation into Human Psychology and Behavior During an Earthquake. *Proceedings of the 6th World Conference on Earthquake Engineering*, (pp. 345-352). New Delhi.
- Oliveira, C. S. (2008). Lisbon earthquake scenarios: A review on uncertainties, from earthquake source to vulnerability modelling. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 890-913.
- Oliveira, C. S., Roca, A., & Goula, X. (2006). *Assessing and Managing Earthquake Risk: Geo-Scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk Mitigation: Developments, Tools, Techniques*. Dordrecht: Springer.
- Rehman, A., Sultana, R., Hussain, L., & Shah, M. (2011). Earthquake and Human Behaviour. *Gomal University Journal of Research*, 38-46.
- Reid, H. F. (1911). The Elastic-Rebound Theory of Earthquakes . *Bulletin of the Department of Geology*, vol. 6, no.19, pp.413-444.
- Sousa, L., Costa, A. C., & Martins, A. (2004). *Simulador de Cenários Sísmicos Integrado num Sistema de Informação Geográfica*. Lisboa: LNEC.
- Sousa, M. L., Martins, A., & Oliveira, C. S. (1992). *Compilação de Catálogos Sísmicos da Região Ibérica. Relatório 36/92 – NDA*. Lisboa: LNEC.
- Spence, R., & So, E. (2009). *Estimating shaking-induced casualties and building damage for global earthquake events: a proposed modelling approach*. Reston, VA: USGS - United States Geological Survey.
- Tung, P. T. (2004). *Road vulnerability assessment for earthquakes*. Enschede: ITC - Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede.
- United Nations (UN). (1999). *RADIUS - Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas Against Seismic Disasters*. New York: United Nations.
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). (1999). *RADIUS - Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters*. New York: UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction.

- United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). (27 de 10 de 2012). *Terminology*. Obtido de UNISDR - United Nation's office for disaster risk reduction: <http://www.unisdr.org/we/inform/terminology#letter-v>
- United States Geological Survey (USGS). (12 de Novembro de 2012). *Earthquake Glossary - aftershocks*. Obtido de USGS - United States Geological Survey: <http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=aftershocks>
- Wald, L. (2012). *Earthquake Hazards Program*. Obtido em 13 de Outubro de 2012, de U.S. Geological Survey: <http://earthquake.usgs.gov/learn/kids/eqscience.php>
- Wang, J., Hu, X., & Xie, B. (2009). Emergency Vehicle Routing in Post-Earthquake City Road Network. *International Conference on Transportation Engineering, 2009* (pp. 2957-2962). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Wang, Y., Li, Z., Chao, J., & Yang, X. (2009). Study On The Carrying Capability Of Preplanned Regional Earthquake Evacuation Corridor Based On Macro-simulation. *ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation System Planning, Development and Management* (pp. 390-398). Harbin: American Society of Civil Engineers.
- Westen, C. v., Siefko, S., Horn, L. M., & Boerboom, L. (2003). *Appllication of GIS for earthquake hazard and risk assessment: Kathmandu, Nepal* (pp. 1-10). Enschede: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC.